

SIIRRETTÄVÄN VARAVOIMAGENERAATTORIN SUUN- NITTELU

Johannes Rauhala

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka

Tekijä	Johannes Rauhala	Vuosi	2015
Ohjaaja	Aila Petäjäjärvi, insinööri		
Toimeksiantaja	Muonion Sähköosuuskunta		
Työn nimi	Siirrettävän varavoimageneraattorin suunnittelu		
Sivu- ja liitemäärä	83 + 17		

Tämän opinnäytetyön aiheena oli siirrettävän, konttimallisen varavoimageneraattorin suunnittelu. Toimeksiantaja oli hankkinut edellisessä sovelluksessa kiinteästi käytetyn varavoimakoneen, joka oli tarkoitus siis muuttaa siirrettäväksi konttimalliseksi koneeksi.

Työn tehtiin toimeksiantajalle, eli Muonion Sähköosuuskunnalle, talvella 2015 tammi-huhtikuun aikana. Tehtäväni oli tutustua toimeksiantajalle hankittuun varavoimakonekokonaisuuteen ja siihen liittyviin apujärjestelmiin sekä varavoimakoneisiin yleensä ja lähdeaineiston perusteella kartoittaa tarvittavat muutokset kiinteän sovelluksen muuttamiseksi siirrettäväksi.

Teoriaosuus käsittelee varavoimakoneita sekä tahtigeneraattoria ja suojalaitteita yleisesti. Kokonaisuuteen kuuluvat osat, ohjauskaapit, järjestelmät ja suojalaitteet esitellään työssä. Suunnitteluprosessi on myös esitelty pääpiirteittäin tässä työssä.

Teoriaosuus käsittelee kattavasti varavoimalaitoksia ja nimenomaan siirrettäviä, konttimallisia laitoksia sekä tahtigeneraattoria. Suojalaitteet on myös esitetty kattavasti. Teoriaosuudesta voi olla apua vastaavaa järjestelmää suunniteltaessa.

Työn lopputuloksena saatiin päivitetyt piirikaaviot varavoimakoneen ohjausjärjestelmistä pääpiirteittäin tarvittavine muutoksineen, sekä yleiskuva konttia varten tarvittavista rakennustöistä, kuten jäähdyttimen sijoituksesta sekä huolto- ja asennusluukkujen tekemisestä.

Avainsanat

dieselgeneraattorit, tahtigeneraattorit, varavoimalat, varavoima

Technology, Communication and
Transport
Electrical Engineering

Author	Johannes Rauhala	Year	2015
Supervisor(s)	Aila Petäjäjärvi, B.Sc. (Tech.)		
Commissioned by	Muonion Sähköosuuskunta		
Subject of thesis	Designing of Container-build Diesel Generator		
Number of pages	83 + 17		

The subject of this thesis was the designing of Container-build Diesel Generator for Muonion Sähköosuuskunta. The purpose of this project was to examine the hardware and chart the necessary changes to the hardware and the control circuits of the diesel generator. The diesel generator was used previously as a stationary device but is now needed to be changed to mobile, container-type generator. This thesis was done between January and April 2015.

The theory part of this thesis covers the synchronous generators in general and reserve power generators, especially the mobile generators, in general. Control systems and protective equipment relevant to this project are also presented in this thesis. The synchronization and protective system of the generator includes a set of protective relays and other equipment which are presented in this thesis.

As the result of this thesis, the circuit diagrams of the control systems are now up to date. Also, the changes needed in hardware, such as the diesel engine and the container, are now outlined in this thesis.

This thesis can be helpful for someone designing a reserve power system like this, or for someone searching for information about mobile power systems and reserve power generators or synchronous generators in general.

Key words diesel generators, reserve power plants, synchronous generators, reserve power

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	YLEISTÄ VARAVOIMALAITOKSISTA.....	9
2.1	Konttimallinen varavoimakone	9
2.1.1	Varavoimakontin varusteet.....	10
2.1.2	Polttonesteiden käsittely.....	11
2.2	Varavoimakonehuoneen layout-suunnittelu yleisesti	12
3	VOIMAKONEET	18
3.1	Dieselmoottori.....	18
3.1.1	Jäähdytys	19
3.1.2	Pakoputki	20
4	TAHTIGENERAATTORI	22
4.1	Yleistä tahtigeneraattoreista	22
4.2	Rakenne	23
4.3	Sijaiskytkentä ja osoitinpiirros	25
4.4	Oikosulku tahtigeneraattorissa.....	27
4.4.1	Oikosulkuvirran syöttö vian aikana	29
4.4.2	Generaattorin oikosulkuvirran laskeminen yleisesti.....	30
4.5	Roottorin maasulku	31
4.6	Suojausmenetelmät yleisesti	31
4.6.1	Differentiaali- eli erovirtasuojaus	32
4.6.2	Impedanssisuojaus.....	33
4.6.3	Maasulkusuojaus.....	34
4.6.4	Magnetointiin liittyvät suojaukset.....	36
4.6.5	Taajuussuojaus	38
4.6.6	Takatehosuojaus	39
4.6.7	Vakioaikaylivirtasuojaus	39
4.6.8	Ylikuormitussuojaus	40
4.7	Generaattorin tahdistus.....	42
4.8	Varavoimageneraattorin liittäminen sähköverkkoon	44
5	SIIRRETTÄVÄN VARAVOIMAGENERAATTORIN SUUNNITTELU.....	45
6	VARAVOIMAKONEKOKONAISUUTEEN KUULUVAT OSAT	45
6.1	Dieselmoottori.....	45

6.2	Generaattori.....	47
6.3	Logiikkakaappi, DG1 & Logiikka, ABB Procontic CS31	48
6.4	Suojaus- ja magnetointi, DG2	51
6.4.1	Rakenne.....	51
6.4.2	Jännitteensäätäjä	53
6.4.3	Tahdistin.....	57
6.5	Generaattorin suojalaitteet.....	58
6.5.1	SPAG 310 C.....	58
6.5.2	SPAM 110	60
6.5.3	SPAU 1F100 J3.....	62
6.5.4	SPAJ 3C5 J3.....	63
6.5.5	Bender SFE140.....	65
6.6	Dieselin ohjauskaappi, DG3.....	65
6.7	Muut kokonaisuuteen kuuluvat osat.....	68
6.7.1	Kennojäähdytin	69
6.7.2	Polttoainesäiliöt	70
6.7.3	Akusto	71
7	VARAVOIMAKONEEN SUUNNITTELU	72
7.1	Varavoimakontin layoutin suunnittelu	72
7.2	Generaattorin tahdistus ja suojaus	74
7.3	Generaattorin liittäminen verkkoon	76
7.4	Varavoimakoneen ajotapakuvaus.....	78
8	POHDINTA.....	80
	LÄHTEET.....	81
	LIITTEET	83

ALKUSANAT

Haluan kiittää Muonion Sähköosuuskuntaa ja toimitusjohtaja Arto Pekosta tarjoamastaan mahdollisuudesta tämän työn tekemiseen. Haluan myös kiittää Aila Petäjäjärveä Lapin Ammattikorkeakoulusta työn ohjaamisesta.

Erityiskiitoksen ansaitsee perheeni, joka on tukenut minua koko opiskeluni ajan monin eri tavoin.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

rpm	revolutions per minute, kierrosta minuutissa
UPS	uninterruptible power supply, katkeamaton tehonsyöttö
VAK	vaarallisten aineiden kuljetus
IBC	Intermediate bulk container
ADR	European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, eurooppalainen hyväksyntä koskien vaarallisten aineiden kuljetusta teitä pitkin

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö on tehty Muonion Sähkösuuskunnalle heidän aiemmin hankkimaansa varavoimakonetta varten. Opinnäytetyön aiheen sain alkuvuodesta 2015 ja työn oli määrä olla valmis keväällä 2015. Alun perin aiheeseen kuului suunnittelun lisäksi myös toteutus, mutta se rajautui kuitenkin kirjallisesta toteutuksesta ulos. Opinnäytetyö rajattiin siis tehtäväksi varavoimageneraattorin suunnitteluun liittyvistä töistä ja toimenpiteistä.

Työhön kuului varavoimakoneeseen ja siihen liittyviin laitteistoihin perehtyminen ja muutosten kartoittaminen, kun kone on tarkoitus muuttaa siirrettäväksi ja sitä ohjaava logiikka jätetään ulos toteutuksesta. Tavoitteena oli saada muutokset kartoitettua ja kuvat päivitettyä, jotta kone voidaan ottaa käyttöön mahdollisimman vähillä selvitystöillä, kun päivitettyt kuvat ovat käytössä.

Opinnäytetyö koostuu teoriaosuudesta sekä itse työstä. Teoriaosuudessa käsitellään diesel-varavoimalaitoksia yleisesti sekä erityisesti konttimalliseen varavoimakoneeseen liittyviä asioita, kuten polttonesteiden kuljetukseen ja säilytykseen liittyviä vaatimuksia. Työssä on esitelty yleisesti varavoimalaitokseen liittyviä suosituksia ja vaatimuksia, jotka on otettava huomioon laitosta suunniteltaessa.

Teoriaosuudessa käsitellään myös tahtigeneraattoria teoreettisesta näkökulmasta. Tahtikoneen toimintaperiaate on esitelty yleisesti, minkä lisäksi myös yleisimmät vikatapaukset ja -tilanteet sekä generaattoreiden suojausmenetelmät esitellään työssä yleisellä tasolla. Generaattorin lisäksi myös dieselvoimakoneet on lyhyesti esitelty yleisellä tasolla. Toimeksiantajan hankkimaan varavoimakonekokonaisuuteen liittyvät komponentit esitellään työn suoritusosassa. Kokonaisuuteen liittyvien ohjauskenttien sisältö ja tarkoitus on työssä myös esitelty. Generaattorin suojausmenetelmät esitellään myös työssä kattavasti. Suunnitteluprosessia myös käydään läpi työn suoritusosassa. Tahdistukseen ja suojaukseen liittyvät muutokset esitellään yleisesti ja piirikaaviot on esitetty liitteissä.

2 YLEISTÄ VARAVOIMALAITOKSISTA

Kiinteistön varavoimalaitoksen tarkoituksena on yleensä turvata tärkeiden toimintojen sähkönsaanti häiriöiden ja katkosten aikana. Varavoimalaitoksia voivat käyttää esimerkiksi teollisuuden tuotantolaitokset ja sairaalat, joissa sähkön jatkuva syöttö on tärkeää. Varavoimajärjestelmä voi olla generaattorimallinen, jossa voimakoneella pyöritetään sähköä tuottavaa generaattoria tai UPS-tyyppinen, jossa sähkönsaanti turvataan akuston avulla. Tässä työssä käsiteltävä varavoimakone on malliltaan dieselgeneraattori, joten tässä työssä ei käsitellä UPS-laitteistoa ollenkaan.

Varavoimalaitos on pyrittävä rakentamaan mahdollisimman itsenäiseksi ja riippumattomaksi muista järjestelmistä, kuten rakennuksen automaatiojärjestelmästä. Voimalaitoksen toiminnan kannalta välttämättömien järjestelmien, kuten jäähdytyksen, ohjaus on toteutettava suoraan varavoima-automaatiikan kautta eikä se saa olla riippuvainen muista järjestelmistä. (Hakala, Hakanen, Kortelainen, Kousa, Laaksonen, Nurmi, & Piippo, 2013, 15.)

2.1 Konttimallinen varavoimakone

Koska tässä työssä käsiteltävä varavoimakone on malliltaan konttimallinen, eli se rakennetaan sitä varten varattuun merikonttiin, käsitellään myös tässä osuudessa pääasiassa konttimallista laitosta koskevia määräyksiä, säännöksiä ja suosituksia. Konttimallinen varavoimakone tarkoittaa kokonaisuutta, jossa varavoimakone apulaitteineen, sekä ohjaus- ja käyttölaitteet on sijoitettu lämpö- ja äänieristettyyn säänkestävään konttiin. Laitteita konttiin sijoitettaessa on pyrittävä huomioimaan, että konttiin jää riittävästi tilaa huoltoa ja käyttöä varten. Lisäksi mahdollinen valvomo-osa suositellaan tehtäväksi kontin ulkopuolelle. (Hakala ym. 2013, 72.)

Pakoputken kontin sisällä kulkeva osa lämpöeristetään. Äänenvaimennin voidaan asentaa tapauskohtaisesti joko kontin ulko- tai sisäpuolelle. Kontin ulkopuolinen osuus voidaan rakentaa eristämättömästä, ruostumattomasta rakenteesta. (Hakala ym. 2013, 73.)

2.1.1 Varavoimakontin varusteet

Konttimallinen laitos on yleensä käytössä tai sijoitettu ulkotiloihin, joten sateen tai sulavan lumen aiheuttavan seisovan veden kertyminen katolle on estettävä, esimerkiksi rakentamalla konttiin harjakatto. Koska kontissa säilytetään ympäristölle haitallisia nesteitä, kuten pakkasnestettä, moottoriöljyä ja dieselin polttoainetta, on mahdollisuuksien mukaan kontin lattian toimittava nestevuodon sattuessa vuotoaltaana estäen näin haitallisten aineiden pääsyn ympäristöön. Lattiassa olevat läpiviennit on tästä syystä varustettava kauluksilla. (Hakala ym., 2013, 72.)

Kontti on lämpöeristettävä siten, että sen sisälämpötila on +10 °C kun ulkolämpötila on -35 °C. Jotta tämä toteutuu, on kontin seinissä ja katossa oltava ainakin 50 mm lämpöeristettä, kuten mineraalivillaa, ja tulo- ja poistoilmapellit, jotka on myös lämpöeristetty. Lisäksi kontin sisäpinnan on oltava rakenteeltaan meteliä absorboiva. Konttiin asennetaan sähkökäyttöinen lämmitin, joka pitää lämpötilan vähintään edellä mainituissa arvoissa, yhdessä dieselin esilämmittimen kanssa. Lämmittimen lisäksi konttiin asennettavia kiinteitä sähkölaitteita ovat kattovalaisin ja vähintään yksi pistorasia. Konttiin asennetaan myös automaattilatauksella oleva käsivalaisin ja ensisammutusvälineet. Automaattinen sammutusjärjestelmä ja kulunvalvontajärjestelmä on myös mahdollista asentaa, tarpeen mukaan. (Hakala ym. 2013, 72.)

2.1.2 Polttonesteiden käsittely

Dieselgeneraattorin polttoaineena käyttämä dieselöljy on luokiteltu III-luokan palavaksi nesteeksi, eli sen leimahduspiste on yli 55 °C, mutta korkeintaan 100 °C. Tämä asettaa joitain edellytyksiä polttoaineen varastoinnille. Polttoaine on ympäristölle haitallista, joten, niin kuin aiemmin mainittiin, on kontin lattian estettävä polttoaineen pääsy ympäristöön nestevuodon sattuessa. (Hakala ym. 2013, 71.)

Turvallisuuden vuoksi suositellaan, että varavoimakonttiin ei sijoiteta ylisuurta polttoainesäiliötä, vaan varastoidaan polttoaine erillisessä säiliössä, josta täytetään käyttösäiliötä automaattisesti. Varastosäiliö on tehtävä ja sijoitettava kulloinkin voimassa olevien lakien ja määräysten mukaisesti. Pohjavesialueella on lisäksi otettava huomioon paikallisten viranomaisten määräykset. Käyttösäiliölle asennetaan tuuletusputki sekä täyttöä varten täyttöputki. (Hakala ym. 2013, 71–73.)

Koska tässä työssä käsiteltävä varavoimakone on siirrettävää mallia, on otettava huomioon myös polttoaineen kuljettaminen käyttöpaikoille. Polttoaineen kuljettamista koskevat omat määräykset ja suositukset. Suuria määriä (yli 1000 litraa) dieseliä kuljettaessa luokitellaan kuljetus vaarallisten aineiden kuljetukseksi (VAK). Tämä edellyttää kuljettajalta pätevyyttä ja erityistä ADR-ajolupaa. Alle tuhannen litran polttoainekuljetukset ovat niin sanottuja vapaarakuljetuksia, jolloin kuljetus vapautuu suuresta osasta VAK-määräyksiä. Vapaarakuljetuksissa on mukana oltava kuitenkin 2 kilogramman sammutin ja rahtikirja. Vapaarakuljetuksen ollessa kyseessä kuljettajalta ei vaadita ADR-ajolupaa, mutta niin kutsuttu tiedostava koulutus on tässäkin tapauksessa pakollinen. (TUKES 2011.)

Polttoaineen kuljettamiseen käytettyjen säiliöiden ei tarvitse olla VAK-lainsäädännön mukaisia IBC-pakkauksia, jos yksittäisen säiliön vetoisuus on alle 450 litraa ja näiden säiliöiden yhteenlaskettu vetoisuus kuormassa on alle 1000 litraa. Säilytykseen tarkoitettun säiliön tulee kuitenkin täyttää varastointia koskevat määräykset. (Pirkanmaan pelastuslaitos.)

2.2 Varavoimakonehuoneen layout-suunnittelu yleisesti

Varavoimakonehuoneen layoutin ja komponenttien sijoittelun suunnittelussa kannattaa pitää mielessä mahdollisimman helppo asennus ja huolto. Lisäksi huomioitavaa on jäähdytysilmakanavien, pakoputken, eristysten ja turvaetäisyyksien viemä tila. (Hakala ym. 2013, 65.)

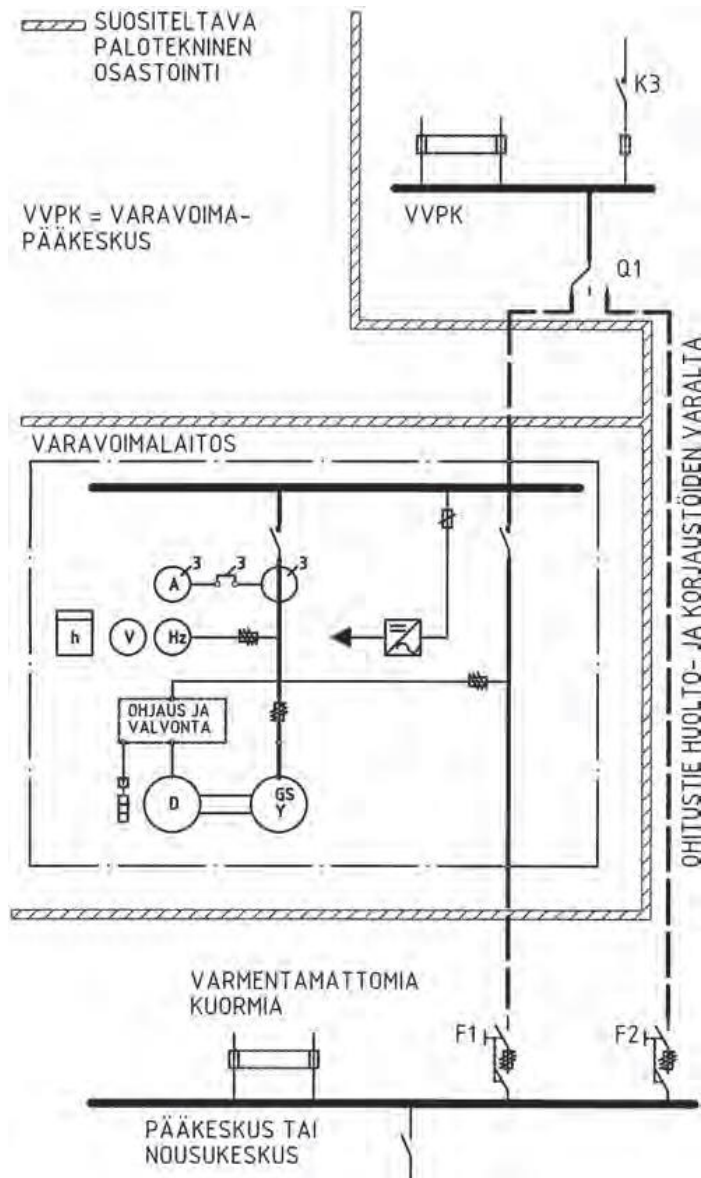
Itse varavoimakonehuoneen suunnittelussa on syytä ottaa huomioon nestevuodon mahdollisuus ja suunnitella lattia sen mukaan öljynkestäväksi, jättämällä läpiviennit ja lattiakaivot pois sekä jättää riittävästi etäisyyttä lattian ja öljyä imevän materiaalin, esimerkiksi äänieristyksen kanssa. Paloturvallisuus on otettava huomioon seinien ja katon materiaalin valinnassa. Kiinteää konehuonetta suunniteltaessa tiili ja betoni ovat raskaina, hyvin äänieristävinä ja palamattomina hyviä materiaaleja. (Hakala ym. 2013, 67.)

Yleisin laitteiden sijoittelutapa on paikanpäällä tehtävien asennustöiden minimoimiseksi rakennettu ”paketti”. Suurin osa komponenteista on tässä tavassa asennettu valmistajan toimesta valmiiksi toimitettavaksi kokonaisuudeksi. Toinen tapa on ns. hajautettu malli, jossa komponentit on sijoiteltu ympäri varavoimahuonetta, toiminnallisuus huomioiden. Tässä asennustavassa putkien ja kaapeleiden asennus on suoritettava paikan päällä. Asennustapaan kuuluu yleensä erillinen valvomotila, johon ohjaus- ja valvontalaitteet on sijoitettu. Pakettimallinen asennustapa on esitetty kuvassa 2 ja hajautettu, valvomollinen tapa kuvassa 3. (Hakala ym. 2013, 50.)

Huoneeseen tai konttiin asennettavien kiinteiden sähkölaitteiden, kuten lämmittimien ja kattovalaisinten syöttö otetaan dieselvarmennetusta sähköstä. Valaistuksen tulisi olla hyvä huoltotöitä silmälläpitäen. Konttimallinen laitos voidaan pitää kiinni sähköverkossa erillisen pistorasian kautta, jolloin akkujen varaajat, lämmitin ja dieselin esilämmitin saavat käyttösähkösä sitä kautta. (Hakala ym. 2013, 67.)

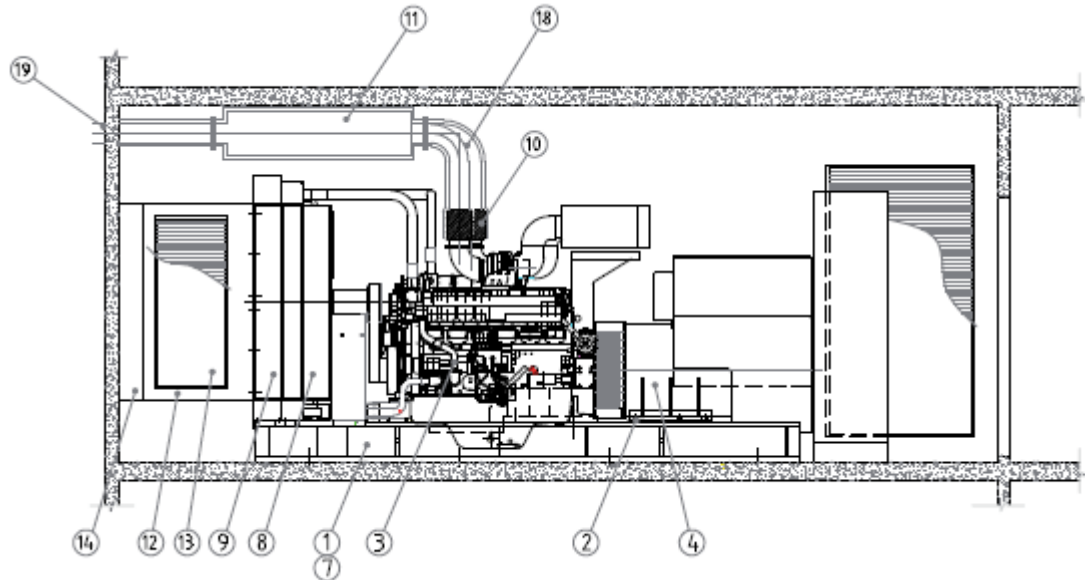
Varavoimalaitoksen ollessa osa kiinteistöä muodostetaan varavoimahuoneesta oma palotekninen osastonsa, jolloin palo voidaan rajoittaa ja sammuttaa syttymispaikassansa ja varavoimalaitos syöttää sähköä kiinteistön elintärkeille osille tulipalon aikanakin. Tämän takia kiinteistön osana olevaan varavoimahuoneeseen tulisi järjestää pääsy suoraan ulkoa tai osastoidusta uloskäytävästä. Tulipalotilannetta silmälläpitäen pitäisi varsinkin huoneen tuloilma-aukko sijoittaa siten, että kiinteistössä tai sen ulkopuolella syttyneen tulipalon palamiskaasut, liekit ja säteilevä lämpö eivät sitä kautta pääsisi huoneeseen. Jos palo-osastoinnin lisäksi tarvitaan myös meluosastointi, on järkevää valita osastointia varten sellaiset rakenteet, jotka täyttävät molemmat vaatimukset. (Hakala ym. 2013, 69–71.)

Kuva 1 on esitetty eräs esimerkki varavoimavarmennetusta verkosta, jossa palotekninen osastointi on huomioitu. Kuvissa Kuva 2, Kuva 3 ja Kuva 4 on esimerkkejä erilaisista komponenttien sijoittelusta.



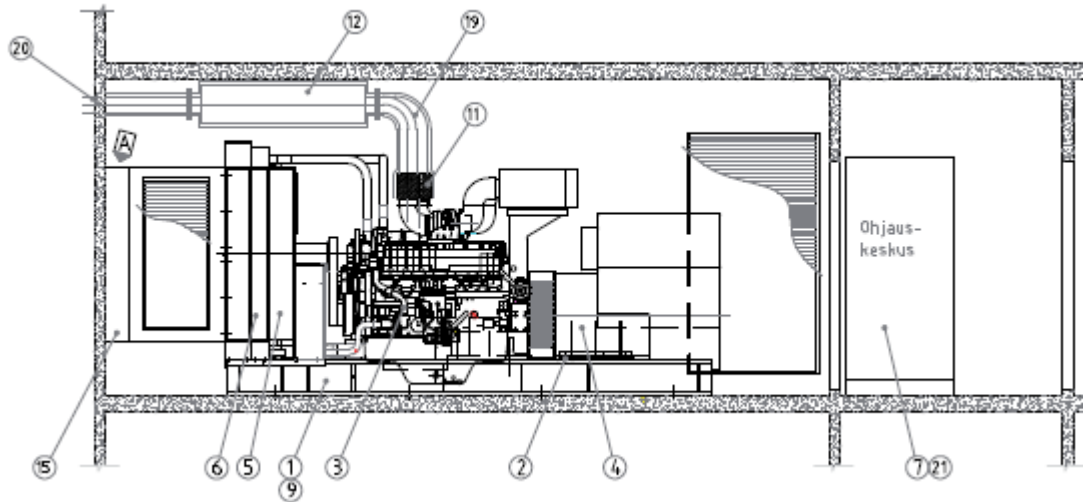
Kuva 1. Eräs esimerkki varavoimavarmennetusta verkosta (Hakala ym. 2013, 38.)

Kuvassa Kuva 2 on esitetty eräs ratkaisu komponenttien sijoittelusta varavoimahuoneeseen. Tässä esimerkissä varavoimakokonaisuuteen ei kuulu erillistä valvomotilaa ja ohjaus on samassa tilassa generaattorin kanssa.



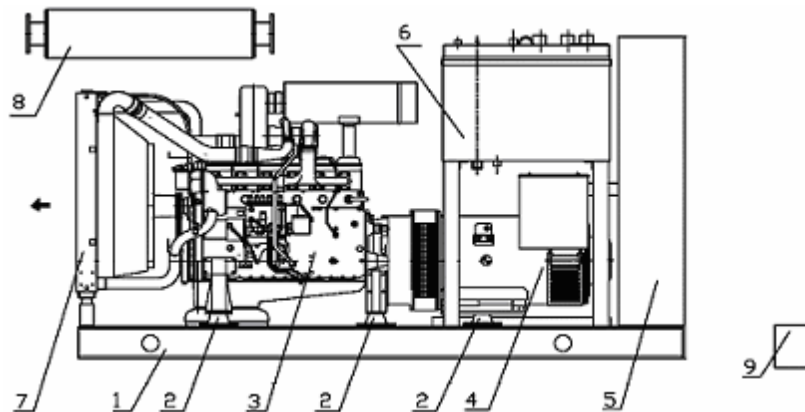
Kuva 2. Komponenttien sijoittelu varavoimahuoneeseen: 1. Terässokkeli, 2. Tärinävaimentimet, 3. Dieselmoottori, 4. Generaattori, 5. Ohjauslaitteisto, 6. Akusto, 7. Polttonesteen käyttösäiliö, 8. Dieselin käyttämä puhallin, 9. Kennojäähdytin, 10. Joustava putki, 11. Äänenvaimennin, 12. Poistoilmakanava, 13. Kiertoilman säätöpelti, 14. Poistoilman säätöpelti, 18. Pakoputki, 19. Putken läpivienti (Hakala ym. 2013, 51.)

Kuvassa Kuva 3 esitetyssä esimerkissä varavoimakokonaisuuteen kuuluu varavoimageneraattorista erillisen tilaan sijoitettu valvomo, josta varavoimakoneen ohjaus hoidetaan.



Kuva 3. Komponenttien sijoittelu varavoimahuoneeseen, jossa erillinen valvomo:
 1. Terässokkeli, 2. Tärinänvaimentimet, 3. Dieselmoottori, 4. Generaattori, 5. Puhallin, 6. Kennojäähdytin, 7. Ohjauslaitteisto erillisessä valvomotilassa, 9. Polttonesteen käyttösäiliö, 11. Joustava putki, 12 Äänenvaimennin, 15. Poistoilman säätöpelti, 19. Pakoputki, 20. Läpivienti, 21. Kaapelien suojakouru (Hakala ym. 2013, 52.)

Kuvassa Kuva 4 on esitetty eräs tapa sijoitella komponentit. Tässä kuvassa polttoainesäiliö on sijoitettu generaattorin päälle tilan säästämiseksi ja tämän kaltaiseen ratkaisuun päädyttiin myös tässä työssä.



Kuva 4. Eräs tapa sijoittaa komponentit: 1. Muototerässokkeli, 2. Tärinänvaimentimet, 3. Dieselmoottori, 4. Generaattori, 5. Ohjauslaitteisto, 6. Polttonesteen käyttösäiliö, 7. Kennojäähdytin, 8. Pakoputken äänenvaimennin, 9. Akusto (Jantunen 2004, 17.)

3 VOIMAKONEET

Varavoimakone on kokonaisuus, jossa mekaanisella voimanlähteellä, esimerkiksi dieselmoottorilla, pyöritetään generaattoria, joka tuottaa sähköä erilaisia tarpeita varten.

Varavoimakoneikko koostuu yleensä generaattorista, sitä pyörittävästä voimakoneesta apulaitteineen, käynnistysakustosta ja siihen liittyvästä varaajasta, jäähdytysjärjestelmästä, joka on yleisesti tyypiltään suljettu nestejäähdytys ja johon kuuluu kennojäähdytin. Koneikossa on myös puhallin ja puhaltimen moottori, polttoainesäiliö, yleensä erillinen päiväsäiliö ja suurempi varastosäiliö, ilmanvaihtojärjestelmä ja joskus varavoimakonehuoneen palonsammutusjärjestelmä tai ensisammutuskalusto. (Hakala ym. 2013, 105.)

3.1 Dieselmoottori

Voimakoneena varavoimajärjestelmässä käytetään yleensä dieselmoottoria. Dieselmoottorit ovat käytössä luotettavia sekä kestäviä, jonka takia ne ovat suosittuja voimakoneina erilaisissa järjestelmissä. Myös bensiinimoottoreita käytetään, mutta yleensä pienemmässä mittakaavassa ja yksivaiheisissa sovelluksissa. Raja menee yleensä noin 5 kilovolttiampeerin kohdalla. Yli 5 kilovolttiampeerin koneikoissa voimakoneena on yleensä dieselmoottori ja alle 5 kilovolttiampeerin koneikoissa käytössä on bensiinimoottori. (ST-kortti 52.40; Jantunen 2004, 15.)

Bensiinimoottoriin verrattuna dieselmoottorin etuja ovat halvempi, helpommin säilytettävä ja käsiteltävä, sekä pienemmän räjähdys- ja palovaaran aiheuttava polttoaine. Dieselmoneen haittapuolia ovat polttoaineen palamisesta syntyvät päästöt. Dieselmone on kuitenkin kaikin puolin luotettava, turvallinen ja taloudellinen ratkaisu suuremman mittakaavan varavoimajärjestelmän voimakoneeksi. (ST-kortti 52.40; Jantunen 2004, 15)

Nykyaikainen uusi dieselmoottori on yleensä turboahdettu ja täten saavutetaan moottorin parempi hyötysuhde, pienempi moottorin koko ja pienemmät valmistuskustannukset. Haittapuolen turboahdettu moottori ei voi ottaa kerralla kuin 60–70 prosentin osuuden nimellisestä kuormasta. Dieselmoottori voi olla myös vapaasti hengittävä, kuten tässä työssä käsiteltävän koneikon dieselmoottori. Vapaasti hengittävä moottori voi ottaa koko nimelliskuorman kerralla. (Hakala ym. 2013, 79; Jantunen 2004, 18.)

Dieselmoottorikokonaisuuteen kuuluu yleensä itse moottorin lisäksi myös polttoainejärjestelmä, käynnistysmoottori, latausgeneraattori akustoa varten, puhdistettavat tai vaihdettavat suodattimet polttoaineelle, voiteluöljylle ja palamisilmalle, pakoputki sekä erilaista mittareita ja antureita, joilla seurataan dieselmoottorin toimintaa. Dieselmoottorilla on yleensä vielä termostaattiohjattu esilämmitys, jolla varmistetaan, että kone käynnistyy joka kerta. (Hakala ym. 2013, 105.)

3.1.1 Jäähdytys

Dieselmoottorin jäähdytysjärjestelmälle on asetettu tiettyjä vaatimuksia, joilla taataan moottorille sopivat toimintaolosuhteet. Näitä vaatimuksia ovat riittävä jäähdytysteho kesähelteellä, toimivuus talviolosuhteissa ja jäähdytyslaitteiston melutaso ei saa olla liian kova ympäristön kannalta. (Hakala ym. 2013, 53.)

Jäähdytyslaitteistoa suunniteltaessa on otettava huomioon Suomen haastavat olosuhteet. Ulkoilman lämpötilan ollessa +30 °C varavoimahuoneen lämpötilan suositellaan olevan korkeintaan +40 °C ja poistoilman lämpötilan korkeintaan +65 °C. Talvella lämpötilan ollessa -30 °C, tai Pohjois-Suomessa -40 °C, varavoimahuoneen lämpötilan suositellaan olevan vähintään +5 °C. Tulo- ja poistoilmapelien on lisäksi oltava lämpöeristettyjä ja ilman virtausnopeus aukoissa on oltava noin 5 m/s. (Hakala ym. 2013 53–54.)

Tässä työssä käytetyn dieselin jäähdytys on toteutettu ulkoilmalla erillisen kennojäähdyttimen välityksellä. Kennojäähdyttimen puhallin on siis sähkömoottorikäyttöinen. Erillinen kennojäähdytin voidaan myös sijoittaa varavoimahuoneen

ulkopuolelle, jolloin varavoimahuoneen jäähdytys on toteutettava jollain toisella tavalla. (Hakala ym. 2013, 57.)

Ulkoilmajäähdytys on suositeltavin jäähdytystapa, koska se on yksinkertainen, käyttövarma, jäähdyttää dieselin lisäksi myös varavoimahuonetta, eikä se rajoita varavoimakoneen toimintajakson pituutta. (Hakala ym. 2013, 54.)

3.1.2 Pakoputki

Myös pakoputkelle on asetettu tiettyjä vaatimuksia, jotka on otettava huomioon varavoimalaitosta suunniteltaessa. Pakokaasun korkea, koneesta lähtiessään noin 400–600 °C lämpötila, on huomioitava putkea ja sen sijoittelua suunniteltaessa. (Hakala ym. 2013, 59.)

Pakoputki kiinnikkeineen ja läpivienteineen on suunniteltava ja rakennettava siten, että se ei aiheuta ympärillään olevien rakenteiden tai tilojen haitallista lämpenemistä, palovaaraa, räjähdysvaaraa tai palovammojen vaaraa. Kosketteluetaisyysdellä olevia pakoputken osuuksia suositellaankin tästä syystä eristettävän siten, että kosketeltava pintalämpötila jää alle 70 °C. Ulkotiloissa sijaitsevat pakoputken sijoitetaan siten, ettei niistä aiheudu palo- tai syttymisvaaraa ja kosketeltavissa olevat osat on suojattava tahattomalta kuumen putken koskettamiselta. Putken kiinnike- ja joustokohdat suunnitellaan lämpölaajeneminen huomioon ottaen, jotta ne eivät rikkoudu putken lämmitessä. Putken sekä sitä tukevien osien on oltava riittävän kestäviä, suunniteltaessa on otettava huomioon myös esimerkiksi tuuli ja katolta putoava lumi. (Hakala ym. 2013, 59–60.)

Pakoputken pään halkaisijan, sijoituksen ja suuntauksen valinnassa on otettava huomioon, että pakokaasu ei jää lähiympäristöön leijumaan, aiheuta lähellä oleville rakennuksille haittaa tai palovaaraa tai pääse ilmanvaihtoaukoista sisään normaaleissa tuuliolosuhteissa. On siis varmistettava, että pakokaasulla on sopiva ulospuhallusnopeus (putken halkaisija) ja että putken suuntaus ei ole alas tai läheisiä rakennuksia päin. Putken pään on lisäksi oltava niin korkealla, että se

ei voi jäädä kinostuvan lumen alle. Myös veden pääsy putken kautta dieselmoottoriin on estettävä, esimerkiksi pakoputkilinjan suunnittelulla siten, että vesi kertyy pakoputken alimpaan kohtaan tehtyyn taskuun, josta se haihtuu käytön yhteydessä. Jos pakoputki jää näkyville on sen täytettävä myös mahdolliset esteettiset vaatimukset. (Hakala ym. 2013, 59–60.)

Pakoputkesta aiheutuva melu ei saa olla häiritsevän voimakasta. Pakoputken alkupäähän sijoitetulla vakiomallisella äänenvaimentimella melutaso saa olla 80–90 dB mitattuna seitsemän metrin etäisyydeltä pakoputken päästä eri suunnista. Melutasoa voidaan tarvittaessa alentaa asentamalla pakoputken loppupäähän lisä-äänenvaimennin. (Hakala ym. 2013, 60.)

Putkea mitoittaessa on otettava huomioon dieselmoottorin valmistajan sallima vastapaine. Yleisesti voidaan olettaa moottorin sallivan ainakin 5 kPa:n vastapaineen, josta 2 kPa:ta varataan äänenvaimentimelle. Taulukossa 1 on esitetty nimellismittoja, joita suunnittelussa voi käyttää avuksi, jos putken pituus on enintään 10m ja putkessa on enintään kolme 90° mutkaa. Mitoitus suositellaan kuitenkin tarkistettavaksi tapauskohtaisesti, koska dieselmoottorien sallimat vastapaineet ja pakokaasumäärät voivat poiketa toisistaan huomattavastikin eri valmistajien ja moottoreiden välillä. (Hakala ym. 2013, 64.)

Taulukko 1. Pakoputken mitoituksessa käytettäviä nimellismittoja. (Hakala ym. 2013, 64.)

Varavoimateho kVA/kW	Pakokaasuvirta m ³ /s	Pakoputki DN
100/80	0,3	100
250/200	0,9	150
500/400	1,6	200
1000/800	3,4	250–300
2000/1600	6,5	350–400

4 TAHTIGENERAATTORI

Generaattori on sähkömoottori, jota ulkoisella mekaanisella voimanlähteellä, esimerkiksi vesi- ja tuulivoima, tai erillinen voimakone, käyttämällä tuotetaan sähköä. Koska tämän työn aiheena olevan varavoimakoneikon generaattori on tahtigeneraattori ja koska voima- ja varavoimalaitoksissa harvemmin käytetään epätahtikoneita, ei tässä opinnäytetyössä käsitellä epätahtigeneraattoreita ollenkaan ja keskitytään vain tahtigeneraattoriin.

4.1 Yleistä tahtigeneraattoreista

Tahtigeneraattorin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon, kun liikkuva magneettikenttä leikkaa johtimen, indusoituu siihen jännite. Induktion kannalta on yhdentekevää, liikkuuko johdin magneettikentän läpi vai vaikuttaako muuttuva magneettikenttä paikoillaan olevaan johtimeen. Tahtigeneraattorin ollessa kyseessä saadaan magneettikenttä aikaan johtamalla tasavirtaa roottorin magnetointikäämeihin. Kun roottori liikkuu, leikkaa magneettikenttä staattorikäämitystä indusoiden siihen vaihtovirran. Staattorin ja roottorin välille syntyvä magneettinen yhteys, joka muodostuu staattorikäämien ja magnetointikäämien ympärille muodostuvista magneettikentistä, aiheuttaa sen, että verkkoon kytketyn tahtikoneen pyörimisnopeus riippuu suoraan sähköverkon taajuudesta. (Ahokas 2011, 4.)

Roottoria voidaan pyörittää useilla eri menetelmillä, kuten varavoimakoneen ollessa kyseessä, erityisellä voimakoneella. Työssä käsiteltävässä sovelluksessa voimakoneena on dieselmoottori. Ennen kuin generaattori voidaan kytkeä sähköverkkoon, on roottorin pyörimisnopeus säädettävä verkon taajuuden mukaisesti. Tässä työssä käsiteltävässä järjestelmässä tahdistuksen hoitaa ensisijaisesti siihen tarkoitettu automatiikka. Pyörimisnopeuden lisäksi myös verkon ja generaattorin vaihejärjestyksen ja -kulman on oltava samat ja jännitteen sekä ge-

neraattorissa että verkossa on oltava itseisarvoltaan yhtä suuria. Kun edellä mainitut ehdot täyttyvät, voidaan generaattori kytkeä verkkoon, esimerkiksi katkaisijan välityksellä. (Ahokas 2011, 4.)

Verkon kuormituksen kasvaessa generaattorin tuottamaa pätötehoa suuremmaksi, otetaan kuormitus suoraan voimakoneen tuottamasta liike-energiasta. Tällöin kuormituksen kasvuun vastataan nostamalla voimakoneen tehoa. Generaattorin jännitteensäätö tapahtuu roottorin virran suuruutta säätämällä. Tässä työssä käsitellyssä sovelluksessa magnetoinnin säätöä hoitaa erillinen jännitteensäätöyksikkö. Jännitteensäätö ohjaa magnetointivirtaa, täten myös generaattorissa tuotettavaa ja kulutettavaa loistehoa. (Ahokas 2011, 4.)

Generaattorin tuottamasta pätö- (P)- ja loistehosta (Q) muodostuu näennäisteho (S), jonka suhdetta pätötehoon kuvaa tehokerroin $\cos\varphi$. Kun $\cos\varphi = 1$, on generaattori perusmagnetoitu, eli siihen syötettävä magnetointivirta on suuruudeltaan riittävä kattamaan vain kuorman tarvitseman pätötehon. Kun magnetointivirtaa kasvatetaan perusmagnetointitilanteesta, alkaa generaattori syöttää loistehoa verkkoon ja vastaavasti perusmagnetointitilanteesta magnetointivirran pienentäminen aiheuttaa sen, että generaattori ottaa verkosta loistehoa. (Ahokas 2011, 4.)

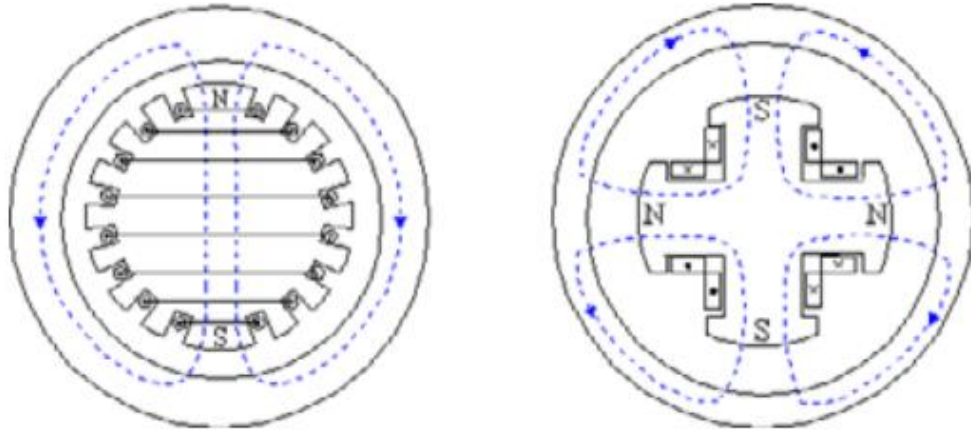
4.2 Rakenne

Tahtigeneraattoreiden roottorit voidaan jakaa rakenteen mukaan avonapaisiin ja umpinapaisiin. Roottorin käämityksen sijoitusta voidaan tarkastella Kuva 5 **Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt..** Kuvassa on esitetty myös magnetointivirran aiheuttaman magneettinavat. Magneettivuon kulkusuunta roottorin ja staattorin välisessä ilmvälissä on N-navasta S-napaan. (Havunen, Kaartinen, Korpinen, Lehtelä & Silvennoinen 1998, osa 2, 1.)

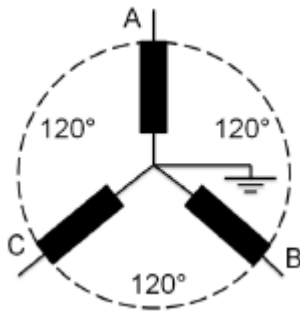
Staattorin käämitykset muodostavat kolme ankkurikäämistä, joihin indusoituvan jännitteen vaihe-ero on 120° . Ankkurikäämien päät on kytketty yhteen pisteessä, jota kutsutaan tähtipisteeksi. Tähtipiste on vikatilanteita silmälläpitäen

maadoitettu. Staattorin käämityksen on esitetty **Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt.**

Dieselgeneraattoreissa yleisimmin käytetty generaattorityyppi on rakenteeltaan yksilaakerinen, harjaton, kolmivaiheinen, itseherätteinen ja -säätöinen sisänapa-tahtigeneraattori. (Hakala ym. 2013, 118; Jantunen 2004, 20.)



Kuva 5. Tahtigeneraattorin roottorin poikkileikkaus. Vasemmalla umpinapainen ja oikealla avonapainen roottori. (Aura & Tonteri 1996, 215; Match & Morgan 1987, 574.)



Kuva 6. Staattorin ankkurikäämitykset (Ahokas 2011, 6.)

Tahtikäytössä olevan tahtigeneraattorin pyörimisnopeuteen n ei juurikaan voida vaikuttaa, vaan se on sidoksissa verkon taajuuteen f , kuten kaavassa 1 on esitetty (Aura & Tonteri 1996, 215.)

$$n = 60 \frac{f}{p} \quad (1)$$

missä

n on pyörimisnopeus (rpm)

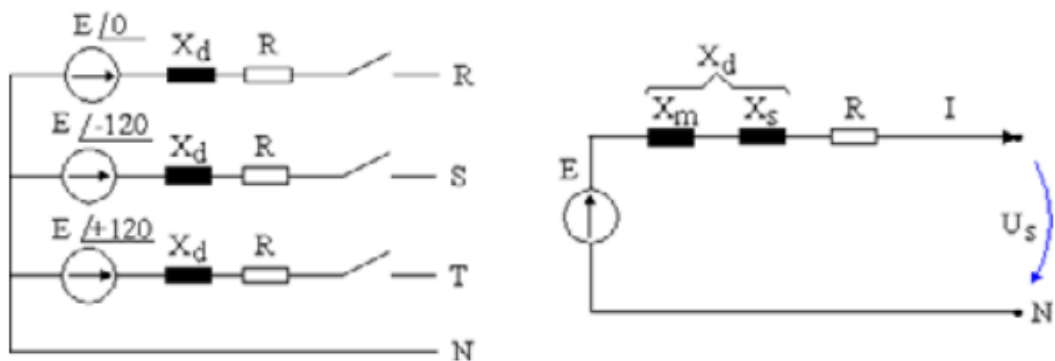
f	on	verkon taajuus (Hz)
p	on	generaattorin napapariluku

kun syöttävän verkon taajuus on 50 Hz ja koneen napapariluku 2, saadaan kaavasta (1) generaattorin pyörimisnopeudeksi 1500 rpm, eli dieselmoottorin on pyöritettävä generaattoria 1500 kierrosta minuutissa. (Jantunen 2004, 19.)

Tässä opinnäytetyössä käytetyn Strömbergin generaattorin nimellipyörimisnopeus on 1500 rpm ja verkon taajuus 50 Hz. Silloin kaava (1) mukaan koneen napapariluvun on oltava 2.

4.3 Sijaiskytkentä ja osoitinpiirros

Tahtigeneraattorin toimintaa on helppo tarkastella, kun se esitetään sijaiskytkentänä. Generaattoria voidaan tarkastella yksivaiheisen sijaiskytkennän kautta, koska kolmivaihejärjestelmässä kolme vaihetta ovat symmetrisiä keskenään. Sijaiskytkentä ei huomioi epälineaarisia ilmiöitä, kuten ankkurireaktiota. Sijaiskytkentä on esitetty Kuva 7.



Kuva 7. Tahtigeneraattorin sijaiskytkentä (Havunen ym. 1998, osa 2, 5.)

Generaattorin liitinjännite U_s voidaan laskea sijaiskytkennästä kaavalla (2). Reaktanssit voidaan yhdistää tahtireaktanssiksi X_d . Resistanssin osuus voidaan suurten generaattoreiden ollessa kyseessä jättää huomiotta, sillä sen merkitys suhteessa reaktanssiin on hyvin pieni. Kaavalla (3) voidaan laskea generaattorin

verkkoon tuottama pätöteho P . Generaattorin napajännitteen U_s ja magnetointilaitteiston lähdejännitteen E välistä vaihekulmaa kuvataan tehokulmana δ .

$$U_s = E - (R + jX_d)I_s \quad (2)$$

$$P = 3 \frac{EU}{X_d} \sin \delta \quad (3)$$

missä

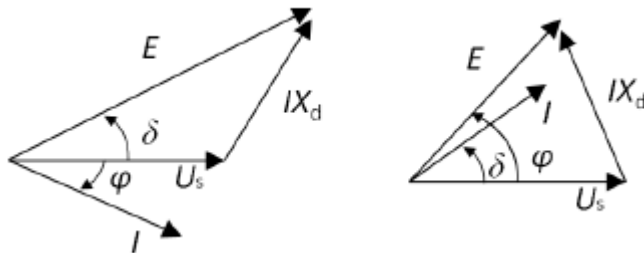
E	on	magnetointilaitteiston lähdejännite (V)
I_s	on	magnetointivirta (A)
X_d	on	tahtireaktanssi (Ω)
R	on	resistanssi (Ω)
U_s	on	generaattorin napajännite (V)
δ	on	tehokulma
P	on	pätöteho

Tehokulma on tyhjäkäynnillä nolla ja se kasvaa voimakoneen antaman tehon myötä. Generaattorin suurin pätöteho saavutetaan tehokulmalla 90° , mutta pätötehoon vaikuttavat lisäksi vielä jännitteet E ja U_s . Jännitteen U_s määrää käytännössä verkko, jolloin pätötehoon voidaan vaikuttaa muuttamalla jännitettä E . Koneen tuottamaan maksimitehoon voidaan myös vaikuttaa suurentamalla koneen sisäistä jännitettä magnetointivirtaa kasvattamalla pysyen kuitenkin koneen toiminnallisten rajojen sisäpuolella.

Generaattorin voimakoneen tuottamaa tehoa kasvatettaessa on huomioitava kuitenkin, että tehokulma ei saa nousta yli 90° . Tästä seuraa generaattorin putoaminen tahdistamagneettisen yhteyden menettämisen vuoksi. (Havunen ym. 1998, osa 2, 6.)

Edellä esitetyn sijaiskytkennän avulla voidaan piirtää osoitinpiirros,

jossa esitetään kaavan (3) suureet vektorimuodossa. Tästä esitystavasta selviävät suureiden suunnat ja edelleen sen perusteella suureiden väliset kulmat. Osoitinpiirros on esitetty Kuva 8.



Kuva 8. Tahtigeneraattorin osoitinpiirros, vasemmalla ylimagnetoitu ja oikealla alimagnetoitu generaattori (Ahokas, 2011, 8.)

4.4 Oikosulku tahtigeneraattorissa

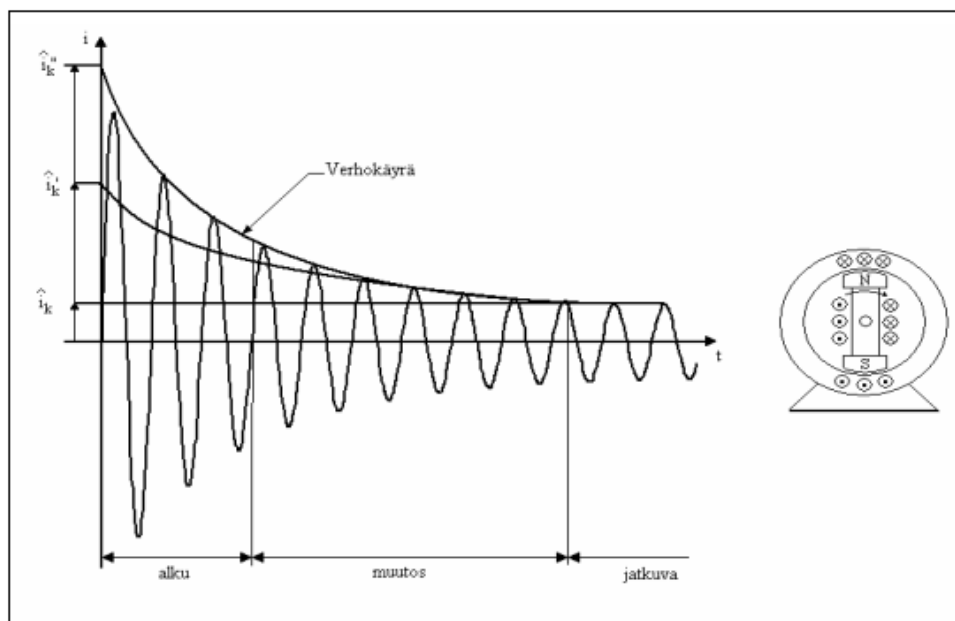
Oikosulku tarkoittaa tilannetta, jossa jännitteisten osien välille muodostuu johtava yhteys muun kuin kuorman tai sähkölähteen kautta. Oikosulkua ilmiönä yleisesti ei tässä työssä käsitellä lainkaan, vaan keskitytään oikosulkuun nimenomaan tahtigeneraattorissa.

Oikosulku tahtigeneraattorissa on luonteeltaan äkillinen muutosilmiö, jossa oikosulun alkuhetkellä esiintyvä sysäysvirta voi olla 18-kertainen verrattuna nimellisvirtaan ja jopa 46-kertainen verrattuna jatkuvaan oikosulkuvirtaan. Oikosulkuvirran amplitudiin ja luonteeseen vaikuttavat eniten generaattoriin liittyvät asiat, kuten generaattorin sisäiset suureet ja roottorin asento suhteessa staattoriin vian alkamishetkellä. Vaikka tahtigeneraattorin oikosulku ilmiönä onkin raju ja sysäysvirta huomattavan suuri suhteessa nimellis- tai jatkuvaan virtaan, pienenee virta kuitenkin nopeasti alle nimellisen arvon. (Pietikäinen 2007, 2–8.)

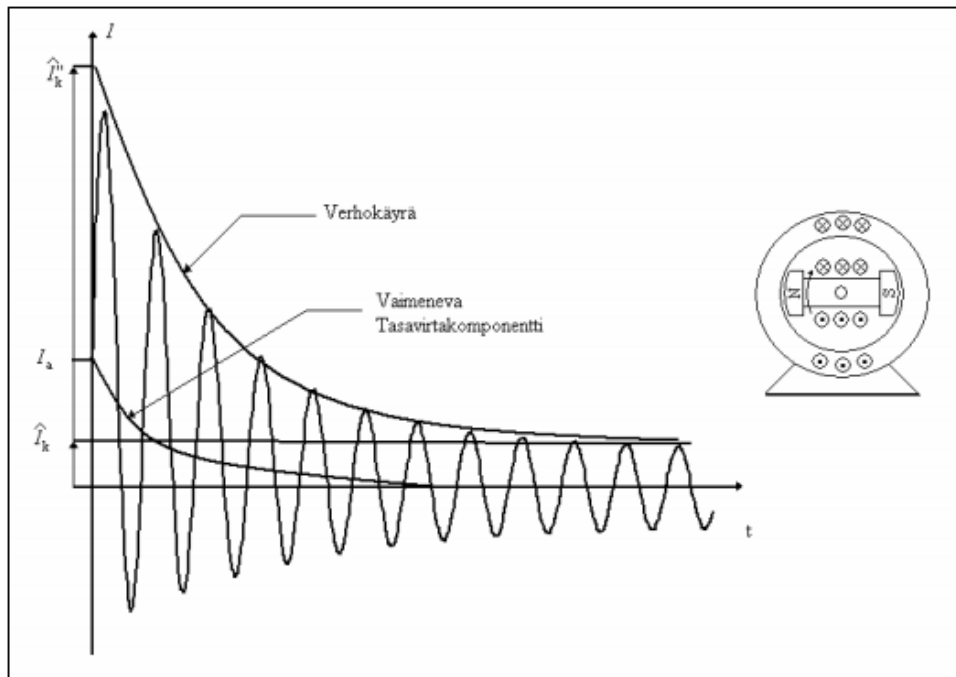
Oikosulku jaetaan yleensä kolmeen osaan, jotka ovat alkuhetki, muutos ja pysyvä oikosulku. Sysäys-oikosulkuvirta pienenee aikavakion määräämänä kohti pysyvään oikosulkuvirran arvoa. Generaattorin pyörimisnopeuden pysyessä vakiona

oikosulun aikana on oikosulun kuvaaja muodoltaan laskeva sinikäyrä. Sysäys-
kosulkuvirran suuri arvo johtuu pyörrevirtojen takia pienestä generaattorin impe-
danssista vian alkaessa. Impedanssi kuitenkin suurenee oikosulun pitkittyessä.
(Pietikäinen 2007, 8.)

Alla olevissa kaavioissa Kaavio 1 ja Kaavio 2 on esitetty oikosulkuvirran kuvaaja
eri tilanteissa. Roottorin asento suhteessa staattoriin on esitetty kuvien yhtey-
dessä.



Kaavio 1. Symmetrisen oikosulkuvirran kuvaaja ajan funktiona. (Pietikäinen 2007, 8.)



Kaavio 2. Epäsymmetrisen oikosulkuvirran kuvaaja ajan funktiona. Epäsymmetrisessä oikosulussa on mukana vaimeneva tasavirtakomponentti I_a , joka vaimenee vaimenemisaikavakion T_a mukaan. (Pietikäinen 2007, 9.)

Täysin symmetrinen oikosulku voi tahtigeneraattorissa esiintyä vain yhdessä vaiheessa kerrallaan, vastaavasti myös epäsymmetrinen oikosulku. Kolmivaiheisen symmetrisen oikosulun oikosulkuvirta on pienin tahtigeneraattorin oikosulkuvirroista. (Pietikäinen 2007, 9.)

4.4.1 Oikosulkuvirran syöttö vian aikana

Oikosulkusuojausta suunniteltaessa on otettava huomioon generaattorin kyky tuottaa oikosulkuvirtaa vikatilanteessa. Jos generaattorikokonaisuudessa ei ole erillistä oikosulkumagnetointia, ei se pysty tuottamaan jatkuvaa oikosulkuvirtaa, vaan vain lyhyen virtatransientin vian alkaessa. Suojaus on suunniteltava siten, että virtatransientti riittää laukaisemaan suojat, tai käytettävä vakioaikaylivirtasuojauksa. Virran arvo laskee nopeasti alle raja-arvojen vikatapauksessa, mutta vakioaikaporras pitää havahtumistilan käytössä ja rele laukaisee aikaviiveen kulluttua, jos vika ei poistu. (ST-kortti 52.40, 2.)

Nykyaikaiseen generaattorikokonaisuuteen kuuluu yleensä oikosulkumagnetointilaitteisto. Kyseessä voi olla esimerkiksi generaattorin akselille kytketty magnetointikone, joka tuottaa magnetointivirtaa koneen pyöriessä tai, kuten tässä työssä, tasasuuntauksella oikosulkupiiristä otettava oikosulkumagnetointi. Tällaisessa tilanteessa generaattori pystyy vian aikana tuottamaan oikosulkuvirtaa, jolloin suojauksen suunnittelusta tulee helpompaa ja selektiivisyyden toteutuminen on varmempaa. Haittapuolena ovat jännitteen heilahtelut ehjissä vaiheissa 1- tai 2-vaiheisen oikosulun aikana. Generaattorilta edellytetään rakenteesta riippuen, 2,2–2,9-kertaista oikosulkuvirtaa, mutta yleensä ne tuottavat 3,0–3,5-kertaista jatkuvaa oikosulkuvirtaa. (ST-kortti 52.40, 3.)

4.4.2 Generaattorin oikosulkuvirran laskeminen yleisesti

Generaattorin oikosulkuvirtaa lasketaan yleensä suojausten toimimisen kannalta. Johtimet ovat sähköverkko syöttäessä generaattorin oikosulkuvirroilla yleensä oikosulkukestoiset sellaisenaan, koska generaattorin tuottama oikosulkuvirta jää usein pienemmäksi kuin verkossa esiintyvä oikosulkuvirta. (Kantonen 2014, 13.) Oikosulkuvirtojen laskennassa voidaan käyttää esimerkiksi Theveninin menetelmää. Menetelmän mukaan kaikki vikapiirin komponentit ovat korvattavissa vikaimpedansseilla ja vikapaikkaan voidaan sijoittaa ekvivalenttinen jännitelähde. Siirtoverkon suureet on laskettava vektoreina, jolloin jännitteiden väliset kulmat tulee otettua huomioon. (ABB 1990, luku 7, 1.)

Generaattorin tuottama jatkuva oikosulkuvirta voidaan laskea seuraavasti:

Lasketaan generaattorin pitkittäisen tahtireaktanssin alkuarvo:

$$X''d = x''d \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \quad (4)$$

missä

$X''d$	on	pitkittäinen tahtireaktanssi
$x''d$	on	suhteellinen alkureaktanssi, koneen teknisistä tiedoista
U_n	on	generaattorin nimellisjännite
S_n	on	generaattorin nimellisteho

Ratkaistaan alkuoikosulkuvirta pisteessä, joka on generaattorin jälkeen, mutta ennen muuntajaa. Tästä pisteestä lasketaan korkein oikosulkuvirta, joten käytetään kerrointa $c_{\max} = 1$, jännitteen ollessa nimellinen 400V. (Havunen ym. 1998, osa 4, 2; ABB 1990, luku 7, 2.)

$$I_k = \frac{c_{\max} \cdot U_n^2}{jX''d} \quad (5)$$

missä

I_k	on	generaattorin suurin alkuoikosulkuvirta
c_{\max}	on	kerroin
U_n	on	generaattorin nimellisjännite vektorimuodossa
$jX''d$	on	pitkittäinen tahtireaktanssi kompleksisessa muodossa

4.5 Roottorin maasulku

Generaattorin roottorissa oleva magnetointipiiri on normaalisti maasta erotettu tasajännitepiiri. Maasulku roottorissa johtuu yleensä kenttäkäämin ja roottoriuran välisestä liian huonosta eristyksestä, josta johtuvan pienen impedanssin takia magnetointipiiri pääsee vuotamaan maahan. Yksittäinen maasulku ei roottorissa aiheuta huomattavia ongelmia generaattorin toiminnalle, mutta toinen maasulku voi aiheuttaa erittäin suuria vaurioita. Maasulun vaikutukset generaattorin toimintaan ja syyt niiden välttämiseksi ja niiltä suojautumiseksi on esitetty osiossa 4.6.3. (Mörsky 1993, 157; Elovaara & Haarla 2011, 375.)

4.6 Suojausmenetelmät yleisesti

Dieselgeneraattori on suojattava vikatilanteiden varalta. Generaattori on vian sattuessa nopeasti erotettava verkosta katkaisijan välityksellä. Vian sattuessa kuitenkin pelkkä katkaisijan avaaminen ei riitä, vaan myös magnetointi on katkaistava ja dieselmoottorin ryntääminen on estettävä ja moottori on pysäytettävä.

Suojaus perustuu yleensä oikosulku- ja ylikuormitussuojaukseen ja se on täydentävissä muilla suojauksilla. Riittävän suojaustason saavuttamiseksi vaaditaan yleensä useampia suojaustoimintoja. (Jantunen 2004, 57–58.)

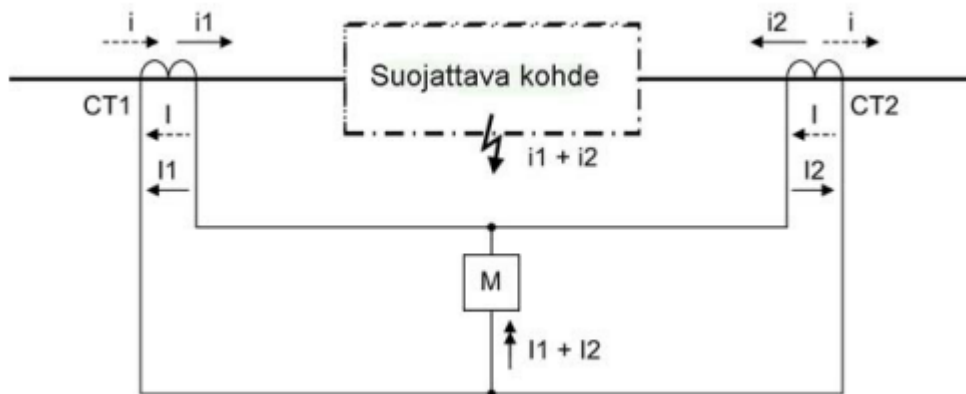
Tässä työssä on käsitelty generaattorin suojausta katkaisijan ja suoreleiden avulla, koska työn kohteena olleessa varavoimakoneessa suojauksessa on sulakkeiden sijasta käytetty suojarkeitä ja katkaisijoita.

Oikein valitulla ja mitoitetulla katkaisijalla voidaan toteuttaa esimerkiksi ylikuormitus- ja kosketussuojaus pelkkään sulakkeelliseen suojaukseen verrattuna paremmin. Myös oikosulkutilanteessa katkaisija toimii nopeasti ja havahtumisrajat ja toiminta-ajat ovat sulaketta tarkemmin aseteltavissa. Sulakkeeseen verrattuna katkaisijalla taas on heikompi oikosulkukestoisuus ja huonompi virranrajoituskyky. (Jantunen 2004, 72.)

4.6.1 Differentiaali- eli erovirtasuojaus

Erovirtasuojia käytetään generaattoreiden ensisijaisina suojina (Häsä 2009, 21). Staattorin käämityksessä sattuvista oikosuluista aiheutuvat oikosulkuvirrat voivat kasvaa todella suuriksi ja aiheuttaa täten suuria vahinkoja käämityksille ja käämien eristemateriaaleille. Oikosulkusuojana käytetty differentiaalisuojaus pyrkii suojaamaan laitteistoa suurten virtojen vaikutuksilta. Differentiaalisuojaus perustuu siihen, että normaalissa tilanteessa kohteeseen menevä ja kohteesta palaava virta ovat yhtä suuria. Virtaa mittaavat mittamuuntajat asennetaan generaattorin molemmille puolille ja normaalitilanteessa mittamuuntajien mittaaman virran amplitudi ja suunta ovat samat, joten mitattava virta on suuruudeltaan 0 A. Releen asettelusta riippuen, mitatun virran poiketessa 0 A:sta, antaa rele laukaisukäskyn. Asettelut on kuitenkin tehtävä siten, että rele ei havahdu suojausalueen ulkopuolella olevista vioista. Lisäksi on huomioitava, että yksivaiheisesti toteutettu differentiaalisuojaus ei havahdu staattorin käämityksessä olevasta viasta, vaikka vaiheiden väliset virrat poikkeaisivatkin toisistaan, ei virtamuuntajien mittamassa virrassa välttämättä synny poikkeamaa. (Mörsky 1993, 46–50.)

Differentiaalisuojauksen periaate on esitetty Kuva 9. Differentiaalioikosulkusuojauksen periaate, virtamuuntajien CT1 ja CT2 muuntosuhde on sama, ja mittauspiirissä M ei normaalissa tilanteessa kulje virtaa. (Mörsky 1993, 47.).



Kuva 9. Differentiaalioikosulkusuojauksen periaate, virtamuuntajien CT1 ja CT2 muuntosuhde on sama, ja mittauspiirissä M ei normaalissa tilanteessa kulje virtaa. (Mörsky 1993, 47.)

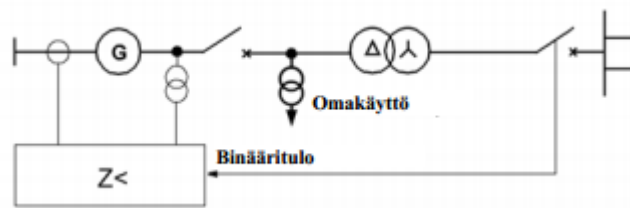
4.6.2 Impedanssisuojaus

Impedanssisuojan tarkoitus on irrottaa generaattori verkosta vaurioitumisen välttämiseksi, kun generaattori syöttää virtaa vikapaikkaa pitkittyneen oikosulkutilanteen aikana ja muut suojareleet eivät jostain syystä reagoi oikosulkuun. Impedanssisuoja mahdollistaa nopeimman mahdollisen aikaselektiivisen laukaisun suojausalueen kattaessa osat generaattorin navoista mahdollisen blokkimuuntajan alajännitekäämeihin. Impedanssisuoja toimii myös siis differentiaalisuojan nopeimpana varasuojana. Lisäksi jos käytetään blokkimuuntajaa, impedanssisuoja toimii muuntajan yläjännitekäämeissä pääsuojan varasuojana toimien viivästettynä ylivirtasuojana oikosuluissa tällä puolella. (Ahokas 2011, 37; Häsä 2009, 23; Mörsky 1993, 57.)

Suojan toiminta perustuu generaattorin nollajohtimen virran ja generaattorin napojen jännitteen perusteella laskettuun impedanssiin. Käytettäessä moniportaista impedanssisuojaa voidaan portaat valita siten, että ensimmäinen porras suojaa

alueen generaattorin navoista blokkimuuntajan alajännitepuolelle ja toinen porras hoitaa verkon suojauksen. Asetteluissa otetaan huomioon verkon stabiilit heilahdelut siten, että impedanssisuoja ei irrota generaattoria verkosta turhaan. (Ahokas 2011, 37; Häsä 2009, 23; Mörsky 1993, 58–78.)

Impedanssisuojauksen periaate on esitetty Kuva 10.



Kuva 10. Impedanssisuojauksen periaate ja suojausalueet. (Häsä 2009, 23.)

4.6.3 Maasulkusuojaus

Staattorissa tapahtuvat maasulut

Generaattorin staattorissa tapahtuvan maasulun aiheuttama vikavirta voi vahingoittaa staattoria, joten staattori on tavalla tai toisella suojattava maasulun varalta. Suojausmenetelmä riippuu staattorin maadoituksesta: jos generaattori on maadoitettu suuren impedanssin kautta, on suojauksen tarkkuudella enemmän merkitystä kuin nopeudella, koska vikavirrat eivät suuren impedanssin vuoksi pääse kasvamaan suuriksi. Jos taas staattorin maadoituksessa on pieni impedanssi, on suureksi kasvavien vikavirtojen vuoksi tärkeää, että suojaus toimii riittävän nopeasti. Generaattorin ollessa maadoitettu jakelu- tai blokkimuuntajan kautta voidaan vikatilanne havaita nollajohtimen kautta. Muuntajaa käytettäessä on suojariele kytketty rinnan muuntajan toisiopuolella sijaitsevan resistanssin tai reaktanssin kanssa, joten se havaitsee nollajohtimessa jännitteen nousun, jos staattorikäämissä on maasulku. (Mörsky 1993, 150.)

Edellä mainitulla suojausmenetelmällä saadaan katettua 95 % kaikista staattorin maasulkutilanteista. Loput 5 % maasuluista, joka jää suojaamatta, tapahtuvat nollajohtimen lähellä. Sitä varten on kehitetty omat menetelmänsä, joilla voidaan havaita kaikki lähellä nollajohdinta tapahtuvat maasulut. (Mörsky 1993, 151–152.)

Ensimmäinen menetelmä perustuu siihen, että generaattorissa tapahtuvat harmoniset yliaaltojännitteet eivät kumoa toisiaan nollajohtimessa, koska ne ovat samassa vaiheessa keskenään. Menetelmässä valvotaan erityisesti kolmannen harmonisen yliaallon jännitettä, koska se on yliaaltojännitteistä suurin ja sen amplitudi riippuu, sekä nollajohtimessa että generaattorin liittimissä, maasulun sijainnista staattorikäimityksessä. Yliaallot riippuvat paljon generaattorista ja käytetyistä kuormista, ja tämä voi vaikeuttaa suojauksen toteuttamista. (Mörsky 1993, 153.)

Toinen menetelmä perustuu aliharmonisella taajuudella syötetyn jännitteen, tuotaman virran mittaamiseen. Näiden suojausmenetelmien yhdistelmällä saadaan 100 % staattorissa tapahtuvista maasuluista havaittua (Mörsky 1993, 153).

Roottorissa tapahtuvat maasulut

Teoriassa roottorissa tapahtuva maasulku ei vaurioita roottoria eikä vaikuta generaattorin toimintaa, koska roottori toimii ilman maadoitusta. Kuitenkin jos roottorissa tapahtuu kaksi tai useampi maasulku samaan aikaan, ne aiheuttavat ongelmia, kuten roottorin epätasaista lämpenemistä, lisääntyntä roottorin tärinää sekä ulostulojännitteen ja ilmapäiviuon epätasaisuutta. Useammat maasulut voivat aiheuttaa roottorin vaurioitumisen vaihtokuntoon. Tästä syystä myös roottori on suojattava maasulun varalta. Suojaus on toteutettava siten, että se toimii jo ensimmäisen maasulun tapahduttua, koska on todennäköistä, että ensimmäinen maasulku indusoi vikajännitteitä, jotka aiheuttavat toisenkin maasulun. Hiiliharjalisessa tahtigeneraattorissa suojarele tunnistaa magnetointikämin ja maan vä-

lillä kulkevassa pienessä vuotovirrassa tapahtuvia muutoksia. Harjattoman generaattorin suojauslaitteisto ei valvo pääkoneen roottoria, vaan suojaus on magnetointilaitteiston piirissä. (Mörsky 1993, 157.)

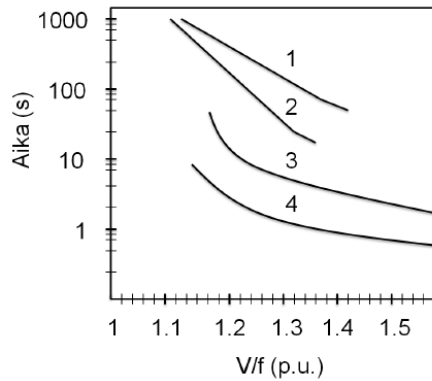
4.6.4 Magnetointiin liittyvät suojaukset

Magnetoinnin suojausten tarkoitus on suojata generaattoria jostain syystä magnetointilaitteistossa esiintyviltä ongelmilta. Ylimagnetointisuojan tehtävän on suojata generaattoria ylimagnetoinnin aiheuttamilta ongelmilta ja toimia varasuojana, jos magnetointilaitteiston ylimagnetointirajoin vaurioituu. Alimagnetointisuojan tarkoitus on suojata generaattoria tilanteissa, joissa magnetointilaitteiston tai jonkin muun vian takia generaattorille ei saada riittävästi magnetointivirtaa. (Ahokas 2011, 38; Ahokas 2011, 43; Mörsky 1993, 167.)

Generaattori voi ylimagnetoitua esimerkiksi käynnistymisen yhteydessä, kun taajuus laskee riittävästi, magnetointilaitteiston vikaantuessa tai kuorman pudotessa yllättävästi verkosta. (Ahokas 2011, 43; Mörsky 1993, 166.)

Ylimagnetointi

Ylimagnetointisuojaus mittaa jännitteen ja taajuuden suhdetta. Yleisesti ylimagnetoinnin rajana pidetään 105 % suhdetta, kun generaattori toimii täydellä kuormalla. Edellä mainitun suhteen jälkeen magneettivuo alkaa tiheytyä siinä määrin, että rakenteissa alkaa esiintyä kyllästymistä. Tämän vuoksi rakenteissa esiintyvä lisälämpö aiheuttaa eristeiden vikaantumista. Ylimagnetointi voi myös aiheuttaa rakenteissa kasvavia pyörrevirtoja ja aiheuttaa suuria jännitteitä niiden välille. (Ahokas 2011, 43.)



Kaavio 3. Esimerkki ylimagnetoinnin suojareleen ja ylimagnetoinninrajoittimen asetteluista (Ahokas 2011, 43.)

Kaavio 3 on esitetty esimerkki magnetoinnin suojauksen asetteluista ja laitteiston sallituista rajoista tietyillä jännitteen ja taajuuden suhteilla. Kaaviossa käyrät (1) on päämuuntajan ja käyrä (2) generaattorin sallitut rajat, käyrä (3) ylimagnetointisuojaan asettelu ja käyrä (4) jännitteensäätäjän ylimagnetointirajoittimen asettelu. Kaaviosta havaitaan, että suojalaitteet on asteltava siten, että ne toimiva, ennen kuin laitteiston sallitut arvot ylitetään. Jännitteensäätäjän vikaantuessa katkaisee ylimagnetointisuoja generaattorin irti verkosta. (Ahokas 2011, 43.)

Alimagnetointi

Alimagnetoinnin seurauksena generaattorin sisäinen jännite laskee ja tämä aiheuttaa koneen sisäistä, staattorin ja roottorin välistä magneettista yhteyttä. Yhteyden heikentyminen aiheuttaa erilaisia ongelmia generaattorin toimintaan. Sisäisen jännitteen pudotessa tarpeeksi kasvaa magneettisen yhteyden heikkenemä niin suureksi, että tehoa ei enää saada siirretyksi verkkoon. Generaattorin magnetointilaitteiston tuottaman magnetointivirran pudotessa riittävän pieneksi alkaa generaattori ottaa magnetointitehoa sähköverkosta, jolloin sen kierrosnopeus kasvaa ja se alkaa muistuttaa toiminnaltaan induktiogeneraattoria. Generaattorin sähköverkosta ottama magnetointiteho voi nostaa generaattorin kuormituksen yli sallittujen toimintarajojen. (Mörsky 1993, 162.)

Alimagnetointisuojaus perustuu suojausalueen generaattorin liittimistä mittaamaan impedanssiin. Vikatilanteissa, jossa magnetointi menetetään tai sitä ei kyetä luomaan, impedanssin vaihtelut noudattavat tiettyä kaavaa. Kun rele havaitsee asetteluarvojen ylittävän, antaa se katkaisijalle laukaisukäskyn. Asetteluissa on otettava huomioon jännitteensäätäjän alimagnetointirajoittimen asettelu, jotta selektiivisyys toteutuu. (Mörsky 1993, 162–164.)

4.6.5 Taajuussuojaus

Sähköverkon nimellinen taajuus on 50 Hz, mutta erilaisten verkon kuormitustilanteiden ja muutosten takia taajuus voi vaihdella nimellisestä jonkin verran. Verkon taajuus nousee, jos tehoa tuotetaan enemmän kuin kulutetaan. Verkon taajuus voi laskea, jos tehoa tuotetaan liian vähän tehontarpeeseen nähden, tai esimerkiksi, jos suuri sähköä tuottava tuotantolaitos irtoaa verkosta. Alitaajuus on haitallisempi generaattoreiden kannalta kuin ylitaajuus, koska, kuten edellä mainittiin, johtuu taajuusvaje tuotantoon nähden liian suuresta kuormasta, joka voi aiheuttaa generaattoreiden toimintarajojen ylittymiseen. Ylitaajuus on helpompi korjata, koska tehontuottoa voidaan säätää vastaamaan kuormitusta, jolloin taajuus saadaan palautettua nimellistasolle. (Ahokas 2011, 41; Mörsky 1993, 155–156.)

Generaattorilla on tietyt valmistajan määrittelemät toimintarajat yli- ja alitaajuustilanteissa, joiden rajoissa se voi toimia, vaikka taajuus poikkeaisikin nimellisestä. Alitaajuustilanne on generaattorille haitallisempi kuin ylitaajuustilanne, joten toimintarajat alitaajuudella ovat tiukemmat kuin ylitaajuudella. Taajuussuojausalueen tarkoitus on suojata generaattoria irrottamalla se verkosta, jos taajuus vaihtelee liiaksi nimellisistä arvoista. Taajuussuojaus voi myös reagoida taajuuden muutosnopeuteen. Taajuuden nopean nousun vuoksi generaattorin pyörintänopeus voi kasvaa äkillisesti, eli generaattori voi rynnätä. (Ahokas 2011, 42; Laiti 2010, 23; Mörsky 1993, 155–156.)

4.6.6 Takatehosuojaus

Takatehotilanne tarkoittaa tilannetta, jossa generaattori jostain syystä tehon tuottamisen sijasta alkaakin ottaa verkosta tehoa ja näin alkaa toimia generaattorin sijasta moottorina. Takatehotilanne ei kuitenkaan ole vahingollinen itse generaattorille, koska tahtigeneraattori voi toimia moottorina, jolloin magnetointiteho otetaan sähköverkosta. Verkosta päin tarkasteltunakaan tilanne ei sinänsä aiheuta poikkeumaa, lukuun ottamatta generaattorin sähkötuotannon menetystä. Riski dieselmoottorin vahingoittumiselle takatehotilanteessa kuitenkin on, koska generaattorin pyörittäessä dieselmoottoria sylinterien suuri vastapaine aiheuttaa mekaanisia rasituksia moottorin akseleille. Takatehosuojan tarkoitus onkin suojata dieselmoottoria kuvaillun kaltaisessa tilanteessa. Ilman riittävän nopeaa laukaista generaattorin laakeri on yleensä vaarassa vaurioitua ensimmäisenä. Takatehosuojana voidaan käyttää tehorelettä, joka havahtuu kun teho alkaa siirtyä verkosta generaattoriin ja näin erottaen generaattorin verkosta. (Mörsky 1993, 165.)

Takatehosuojauksen asettelussa on huomioitava, ettei sitä asetella liian herkäksi, koska tahdistustilanteessa ja verkon tehoheilahtelujen seurauksena syntyy pieniä takatehoja. (Mörsky 1993, 165–166.)

4.6.7 Vakioaikaylivirtasuojaus

Vakioaikaylivirtasuojaa käytetään generaattorin varasuojana. Se on oikosulkusuojaja, joka toimii pääoikosulkusuojiin, kuten differentiaalisuojauksen apuna tilanteissa, differentiaalisuoja ei jostain syystä toimi tai on vikaantunut. Vakioaikaylivirtasuojaja suojaa generaattoria myös verkossa tapahtuvilta oikosuluilta ja häiriöiltä, joihin differentiaalisuoja ei ehdi reagoida, tai vikavirrat eivät ylitä differentiaalisuojan asetteluja. Oikosulun sattuessa generaattorissa, jossa magnetointivirta otetaan generaattorin navoilta tai manuaalisen jännitteensäätäjän kautta, voi vikavirta laskea nopeasti alle ylivirtasuojiin havahtumisarvojen, koska magnetointi katoaa oikosulun takia. Edellä mainitun takia suojassa on alijänniteporras, joka havahtuu kun jännitteen myötäkomponentti alittaa suojaan asetellun

arvon. Alijänniteporras pitää suojaa havahtuneena ennalta asetellun ajan huolimatta siitä, että virta-arvo olisikin laskenut asetellun arvon alapuolelle ja suoja-laite laukeaa aikaviiveen kuluttua. (Mörsky 1993, 142–143.)

4.6.8 Ylikuormitussuojaus

Generaattorin tyyppikilvessä annettu nimellinen teho on valmistajan toimesta määritelty tietyillä suureilla, joihin kuuluvat jännite, virta, tehokerroin ja taajuus. Jännite voi vaihdella muutaman prosentin suuntaan tai toiseen nimellisjännitteestä generaattorin toimiessa normaalisti nimellisteholla. Staattorin virta voi kuitenkin kasvaa huomattavan suureksi viasta tai jostain normaaliin käyttöön liittyvästä tilanteesta johtuen. Generaattorin lämpötila voi myös nousta haitallisen korkeaksi jäähdytysjärjestelmässä tai käämityksessä olevan vian takia. Generaattorit on kuitenkin suunniteltu kestäämään hetkellisesti nousseita virtoja ja lämpötiloja tiettyyn pisteeseen saakka. Generaattorin lämpenemistä voidaan valvoa erilaisilla lämpösuojilla tai -releillä, jotka havaittuaan haitallisen korkeaksi nousseen lämmön antavat katkaisijalle laukaisukäskyn. (Ahokas 2011, 40; Mörsky 1993, 145.)

Kaapeleiden tai laitteiden ylikuormitussuojana voidaan käyttää katkaisijan lisäksi gG-tyyppin sulaketta, mutta tässä työssä sitä ei tarkemmin kuvata, koska generaattorissa on katkaisijoilla toteutettu suojaus. Kuitenkin sulakkeen mitoitusperusteita voidaan käyttää avuksi ylikuormitussuojana toimivan releen asetteluissa. Standardin SFS-6000 mukaan ylikuormitussuojauksessa on toteuduttava seuraavat ehdot (Käsikirja D1 2012, 132–133; Jantunen 2004, 64.):

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (5)$$

missä

I_B	on	mitoitusvirta
I_n	on	sulakkeen nimellisvirta/laukaisuvirta
I_Z	on	kaapelin tai laitteen jatkuva kuormitettavuus korjauskertoimilla korjattuna

$$I_2 \leq 1,45 \times I_Z \quad (6)$$

missä

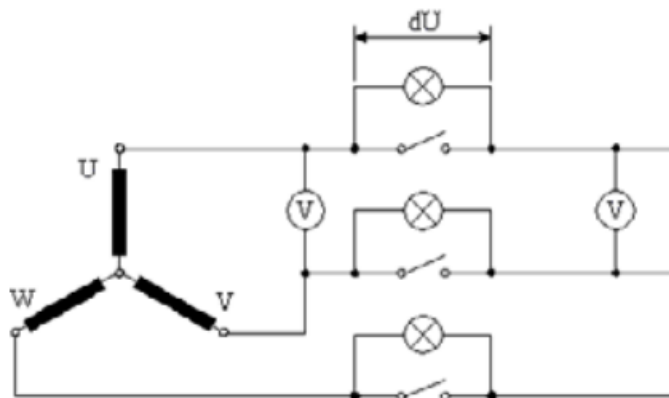
I_2 on sulakkeen laukaisukäyrän ylärajan mukainen virta

Käytettäessä katkaisijaa ylikuormitussuojana, on suojausalueen toiminnan toleranssi 1,05–1,3-kertainen asetteluvirtaan nähden ja laukaisuaika on erikseen aseteltavissa. Sulakkeen toimintavirta on taas 1,6–2,1-kertainen nimellisvirtaan nähden ja laukaisuaika on saatavilla laukaisukäyrästä. Edellä mainitun perusteella voidaan havaita, että katkaisijalla päästään lähemmäs todellista kuormitusvirtaa kuin sulakkeella. (Jantunen 2004, 72.)

4.7 Generaattorin tahdistus

Kuten aiemmin jo mainittiin, ei tahtigeneraattorin roottorin taajuus ole käynnistämisen jälkeen sama, kuin verkon taajuus. Ennen kuin generaattori voidaan kytkeä verkkoon, on roottorin ja verkon taajuudet asetettava yhtä suuriksi. Sähköverkon taajuuden muuttaminen generaattorin taajuutta vastaavaksi ei ole järkevää, joten generaattorin taajuus on asetettava verkon taajuutta vastaavaksi. Taajuudessa sallitaan $\pm 0,067$ Hz:n poikkeama. Generaattorin ja verkon jännitteiden on myös oltava samaa suuruusluokkaa, generaattorin liitinjännitteessä sallitaan ± 5 % poikkeama verkon jännitteeseen nähden. Lisäksi generaattorin ja verkon vaihejärjestyksen on oltava sama ja vaihe-eron oltava riittävän pieni. Vaihekulmien poikkeamana hyväksytään $\pm 10^\circ$ ero. (Havunen ym. 1998, osa 2, 7.)

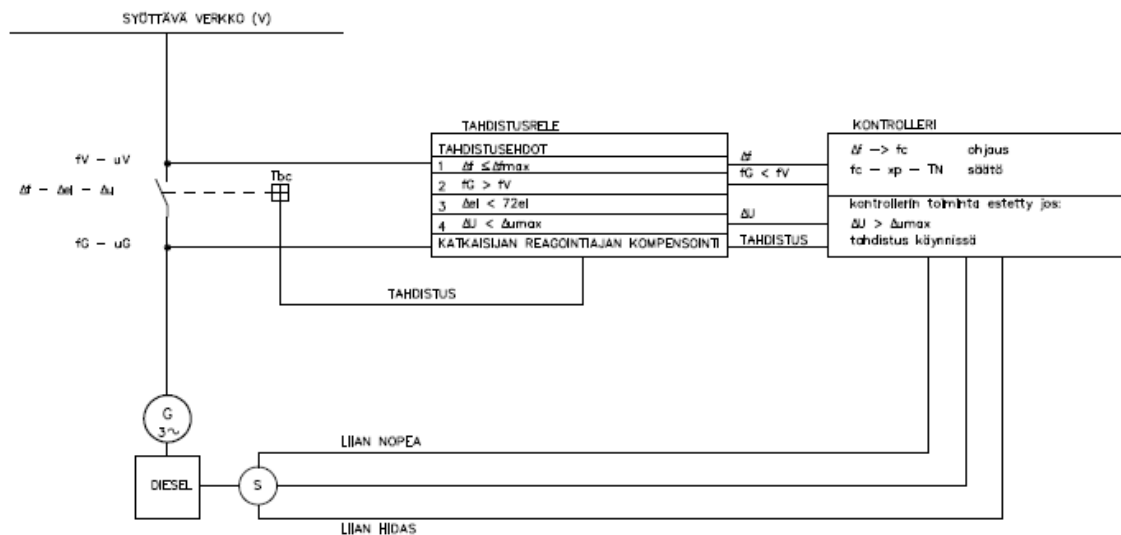
Kun edellä mainitut ehdot täyttävät, voidaan generaattori kytkeä verkkoon generaattorikatkaisijan välityksellä eikä verkkoon synny kytkeävirtasysäystä, verkon jännite ei heilahtele ja laitteet pysyvät vaurioitta. Kun tahdistus suoritetaan onnistuneesti, eivät muut verkon käyttäjät havaitse generaattorin kytkeä ja generaattori alkaa käydä tyhjäkäyntiä. Jos tahdistus epäonnistuu, aiheuttaa taajuuden poikkeama pyörivien koneiden nopean kiihtymisen tai hidastumisen, joka puolestaan altistaa generaattorin voimakoneineen mekaanisille rasituksille, jotka voivat vaurioittaa koneikkoa. Verkon muut kuormat kokevat voimakkaita jännitteen heilahteluja huonon tahdistuksen johdosta. (Havunen ym. 1998, osa 2, 7.)



Kuva 11. Yksinkertainen generaattorin tahdistuskytkentä (Havunen ym. 1998, osa 2, 7.)

Kuva 11 on esitetty yksinkertainen tahdistuskytkentä, jossa lamput on kytketty katkaisijan yli. Jännitemittareilla voidaan todeta jännitteen generaattorikatkaisijan molemmin puolin olevan sama. Verkon taajuuden tai jännitteen poiketessa generaattorin vastaavista, muodostuu katkaisijan yli jännite dU ja lamput palavat. Suureiden ollessa samat, lamput eivät pala ja katkaisija voidaan sulkea. Käytännössä tahdistuksen hoitaa yleensä siihen tarkoitettu laitteisto. Tahdistuslaitteistoon kuuluu itse tahdistin, tahdistuksen valvoja, taajuuden säätö- ja jännitteen säätölaitteisto. Taajuuden säätö tapahtuu voimakoneen pyörimisnopeutta säätämällä ja jännitteen säätö tapahtuu generaattorin magnetointivirtaa säätämällä. Nykyaikaisilla laitteilla itse tahdistin ja tahdistuksen valvoja ovat samaa laitetta. (Havunen ym. 1998, osa 2, 7.)

Kaavio 4 on esitetty tämän työn generaattorin tahdistuksen periaate ja tahdistuksen ehdot. Kaavio on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 1.



Kaavio 4. Tahdistuksen periaate

4.8 Varavoimageneraattorin liittäminen sähköverkkoon

Tässä osiossa käsitellään tahtigeneraattorin kytkemistä verkkoon. Koska tahtigeneraattorin roottorin pyörimisnopeus ei ole käynnistymisen jälkeen sama, kuin verkon taajuus, ei tahtikonetta voi kytkeä verkkoon samalla tavalla kuin esimerkiksi oikosulkukonetta. (Havunen ym. 1998, osa 2, 6-7.)

Generaattori kytketään yleensä verkkoon erityisen generaattorikatkaisijan välityksellä tai joskus harvemmin generaattorikatkaisijan puuttuessa blokkimuuntajan jälkeisellä verkkokatkaisijalla (Häsä 2009, 7). Esimerkiksi teollisuuslaitoksissa varavoimala kytketään laitoksen suurjänniteverkkoon blokkimuuntajan välityksellä. Generaattori voidaan kytkeä syöttämään samoja kohteita syöttävän sähköverkon kanssa, ilman, että sähköverkon syöttöä katkaistaan. Tällöin generaattorin toimii rinnan, *nk. rinnankäyttö*, syöttävän verkon kanssa. Generaattorin on tällöin ehdottoman tärkeää olla samassa tahdissa syöttävän verkon kanssa, ennen kuin generaattorikatkaisija suljetaan, jotta vältetään ongelmilta. Vaihtoehtoisesti generaattori voidaan kytkeä syöttämään verkkoa tai verkon osaa, johon ei tule esimerkiksi vian takia jakeluverkosta sähkönsyöttöä. Tällainen verkko tai verkon osa voi olla myös kokonaan irrallinen sähköjakeluverkosta. Edellä mainitussa tilanteessa generaattori toimii *saarekekäytössä*. (Ahokas 2011, 12; Häsä 2009, 4.)

Tässä työssä varavoimakontti liitetään verkkoon generaattorikatkaisijan kautta jakelumuuntajan alajännitepuolelle, jolloin generaattorilla voidaan syöttää suurjänniteverkkoa. Vaihtoehtoisesti varavoimakone voidaan kytkeä muuntajan rinnalle syöttämään pienjänniteverkkoa pylväsvarokekytkimen kautta. Generaattoria on tarkoitus voida käyttää esimerkiksi vian tai muun sähkönsyötön katkoksen aikana sähkönsyöttämiseen verkkoon tai verkon osaan. Generaattori toimisi tällöin saarekekäytössä. Hallitun katkon aikana generaattori tahdistetaan ja kytketään ensin rinnan verkon kanssa, minkä jälkeen jakeluverkon syöttö voidaan katkaista esimerkiksi verkkokatkaisijan tai erottimen välityksellä. Toimenpiteiden jälkeen generaattori toimii saarekekäytössä toimittuaan ensin hetken rinnankäytössä.

5 SIIRRETTÄVÄN VARAVOIMAGENERAATTORIN SUUNNITTELU

Projektiä varten toimeksiantaja oli hankkinut varavoimakoneen ja siihen liittyvät järjestelmät. Kokonaisuuteen kuuluu dieselkoneen ja generaattorin lisäksi kontti, johon koneikko asennetaan, kaksi polttonestesäiliötä, kennojäähdytin ja keskuskaapit, jotka sisältävät dieselin omakäytön, ohjauslogiikan, magnetoinnin, suojauksen ja tahdistusautomaatiikan.

Tavoitteena oli suunnitella konttimallinen varavoimakone, jonka tarvittaessa voisi siirtää vikapaikkaan turvaamaan sähkönsyöttö. Kone oli tarkoitus rakentaa siten, että se voitaisiin helposti kytkeä useassa eri paikassa. Näihin mahdollisiin kytkentäpisteisiin oli tarkoitus vielä rakentaa valmius koneikkoa varten, jotta kytkeminen hoituisi helposti.

6 VARAVOIMAKONEKOKONAISUUTEEN KUULUVAT OSAT

Opinnäytetyössä käytettävään varavoimakonekokonaisuuteen kuuluu useita eri osia ja komponentteja. Tässä osiossa käydään läpi ja tutkitaan näitä komponentteja.

6.1 Dieselmoottori

Generaattorin voimakone on Deutzin valmistama 12-sylinterinen 30,4 litrainen nelitahtinen etukammiodiesel. Sylinterit on sijoitettu 120 asteen V-kulmaan ja moottorin apulaitteet, kuten suihkutuspumppu, käynnistysmoottori, latausgeneraattori, jäähdytysvesipumppu, öljynjäähdytin, öljylinko sekä polttoainesuodatin sijoitettu V-kulman sisälle koneen päälle. (KHD AG 1981, 4.)

Moottorin kampiakseli on laakeroitu seitsemään runkolaakeriin ja vastakkaisten sylinterin kiertokanget on laakeroitu samaan kampitappiin. Moottorin öljypohja on valurautainen, ja sen tilavuutta voi tarvittaessa suurentaa. Nokka-akselit, öljypumppu ja suihkutuspumppu ovat hammaspyöräkäyttöisiä. Moottorin männät

ovat kevytvalua ja sylinteriputket keskipakovalettu sekä fosfatoitu. Sylinterinkannet on kiinnitetty sylinteriryhmittäin ja ne ovat valurautaisia sekä niissä on suuria termisiä rasituksia kestävät venttiilit ja pystyasennossa oleva etukammio. Kummallakin sylinteriryhmällä on moottorin vauhtipyörän puoleisessa päässä oma turboahtimensa. Ahtoilma on jäähdytetty erillisellä ahtoilmanjäähdyttimellä. Moottori voidaan varustaa kennojäähdyttimellä, jossa on sähköinen tai hydraulinen tuuletin. Tässä projektissa käytetyssä koneessa käytetään kennojäähdytintä, jossa on sähköinen tuuletin. Erillinen kennojäähdytin jäähdyttää samalla koko varavoimakonttia. Moottorin jäähdytysveden lämpötila pyritään pitämään 85 °C. (KHD AG 1981, 4–5.)

Taulukossa 2 on esitetty moottorin tärkeimmät tekniset tiedot:

Taulukko 2. Dieselmoottorin tekniset tiedot (KHD AG 1981, 10).

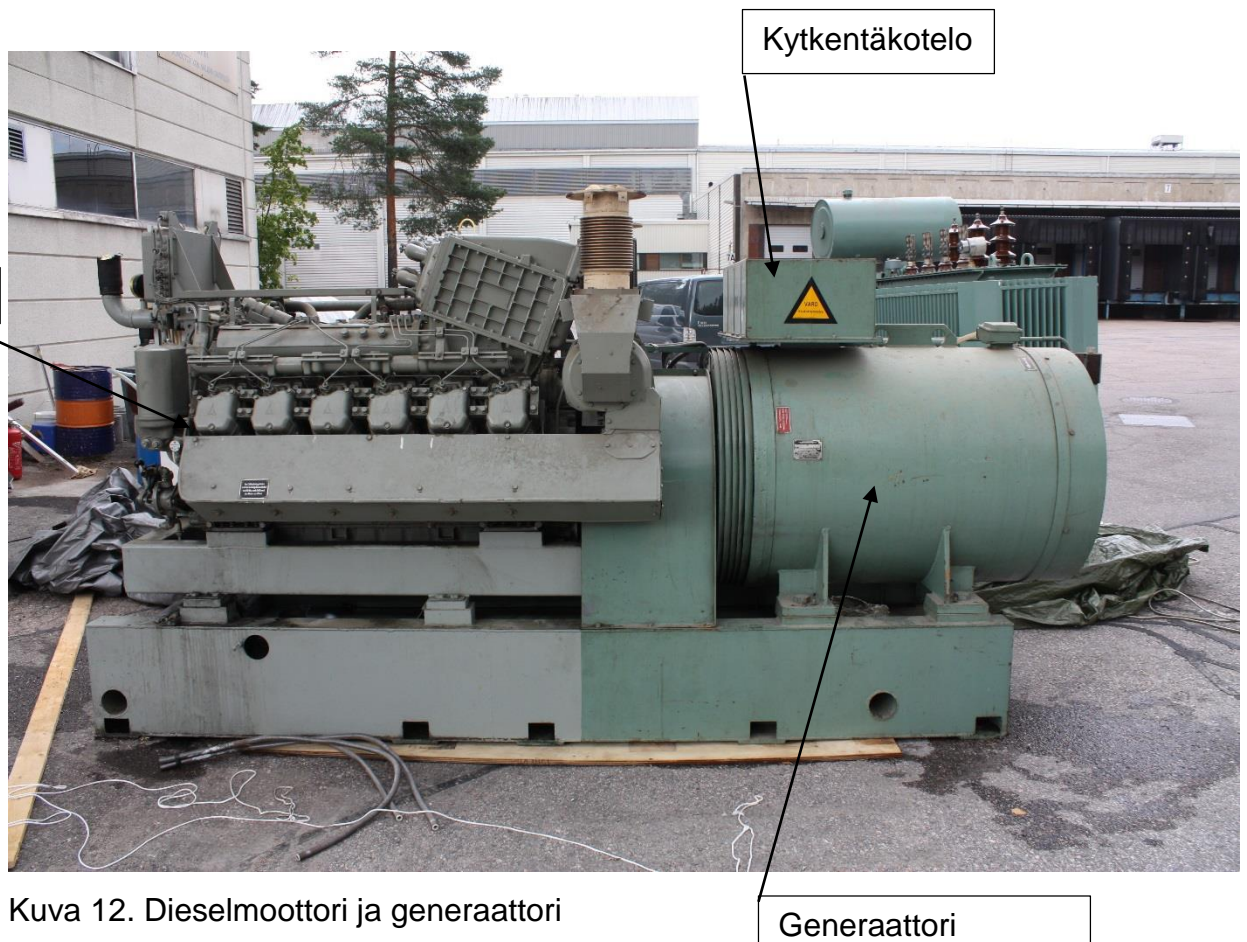
Sylinteriluku	12, 120° V-kulma
Sylinterin halkaisija	142 mm
Iskun pituus	160 mm
Iskutilavuus	30408 cm ³
Paino	n. 3000 kg
Moottorin teho	604 kW/1500 rpm 665 kW/1485 rpm

6.2 Generaattori

Varavoimakoneen generaattori on Strömbergin valmistama, kaksinapaparinen harjaton tahtigeneraattori. Generaattori on liitetty suoraan voimakoneen kampiakseliin, eli kyseessä on yksilaakerinen rakenne. Generaattori on magnetoitu erillisen jännitteensäätäjän avulla ja generaattorin liittäminen verkkoon tapahtuu 1250 ampeerin generaattorikatkaisijan kautta. Generaattorin suojaus on toteutettu suo-jareleillä, jotka tarkkailevat mm. ylijännitettä, ylivirtaa, alijännitettä ja takatehoa. Releet on kuvattu tarkemmin omassa osiossaan. Tahdistuminen verkkoon hoide-taan tahdistusautomaatiikan kautta, joka mittaa verkon arvot ja säättää generaat-torin taajuuden ja tehon verkon mukaiseksi. Tahdistus voidaan toteuttaa myös käsitahdistuksena mittareiden ja säätökytkimien avulla.

Generaattorin kaapelit kaapeloidaan sen päällä sijaitsevaan kytkentäkoteloon.

Kuva 12 on tässä työssä käytettävä varavoimakoneikko.



Kuva 12. Dieselmoottori ja generaattori

Taulukossa 3 on esitetty generaattorin arvokilven tiedot

Taulukko 3. Generaattorin tekniset tiedot

Valmistaja	Strömberg
Tyyppi	HFST 10040 P2 B3
Näennäisteho S	700 kVA
Nimellisjännite U	400/231 V
Nimellisvirta I	1010 A
Nimellinen pyörintänopeus	1500 rpm
cos ϕ	0,8
Magnetointijännite U_m	90 V
Magnetointivirta I_m	37 A
Paino	3170 kg
Kotelointiluokka	IP23

6.3 Logiikkakaappi, DG1 & Logiikka, ABB Procontic CS31

Kaapissa DG1 sijaitsee varavoimageneraattorin ohjauslogiikka. Varavoimakone on alun perin suunniteltu toimimaan pääasiassa logiikan ohjaamana. Logiikka valvoo jatkuvasti verkon jännitettä ja varavoimakoneeseen liittyviä järjestelmiä. Verkon jännitteen laskiessa riittävän alas tai sähköön katkettua verkossa logiikka käynnistää moottorin. Kun verkko palautuu, ohjaa logiikka varavoimakoneen irti verkosta katkaisijan välityksellä ja sammuttaa dieselin viiden minuutin jäähdytys-käytön jälkeen.

Varavoimakoneeseen liittyvien järjestelmien hälytykset tulevat myös logiikan ohjauspaneelille, josta ne ovat tarkasteltavissa. Logiikkaan on kuulunut myös erillinen ohjauspaneeli joka on sijainnut valvomossa. Varavoimakonetta on näin voitu käyttää myös manuaalisesti ilman paikallista ohjausta.

Tätä työtä varten päätettiin, että logiikka jätetään siirrettävää käyttöä varten pois ja varavoimakonetta ohjataan pelkästään manuaalisesti. Näin vältetään logiikan

uudelleenohjelmoinnilta. Itselleni tämä ABB:n logiikka on vieras, joten sen uudelleenohjelmointi olisi teettänyt paljon ylimääräistä työtä logiikan toiminnan opiskelun muodossa. Valmius logiikan liittämiseksi kuitenkin pyritään säilyttämään.

Logiikan poistaminen ei vaadi koneen ohjauksiin kovin radikaaleja muutoksia, koska, kuten aiemmin mainittiin, konetta voidaan ja on voitu aikaisemmassakin sovelluksessa, käyttää myös paikallisesti käsikäytöllä, ns. hätäkäytöllä.

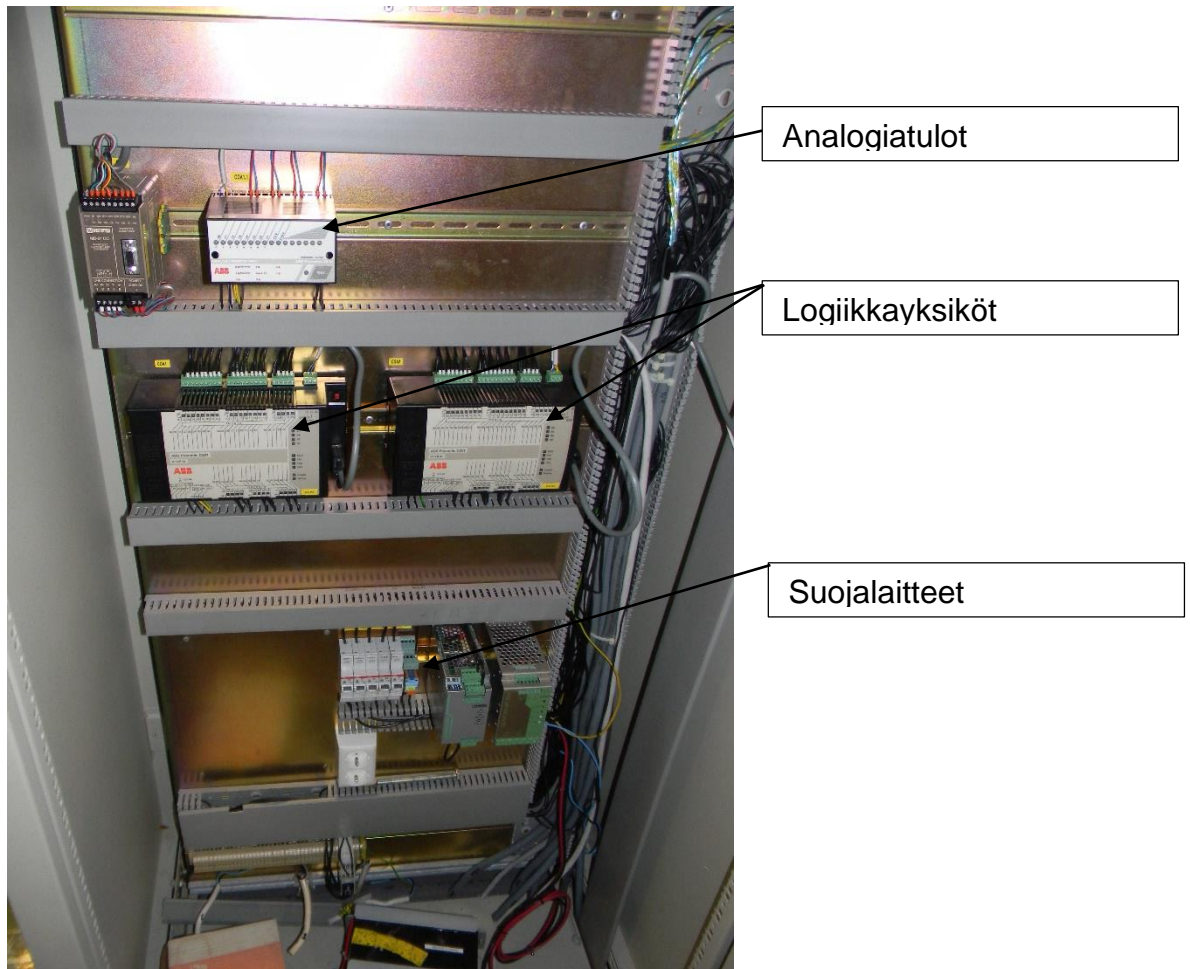
Procontic CS31

Logiikkaohjaus jätetään tästä työstä pois käytöstä, joten logiikkaa ei tässä osiossa esitellä kuin pääpiirteittäin.

Logiikka on malliltaan ABB:n Procontic CS31. Logiikka on tyypiltään hajautettu, eli keskusyksikkö ja tulo/lähtöyksiköt ovat erillisiä moduuleita ja näinollen niitä ei välttämättä tarvitse asentaa fyysisesti samaan paikkaan. Kokonaisuuteen kuuluu kaapin oveen asennettu ohjauspaneeli, josta logiikkaan ajettua ohjelmaa voidaan käyttää. Logiikka koostuu kahdesta Procontic C31-yksiköstä, joissa on 23 digitaalista sisääntuloa ja 15 digitaalista lähtöä kussakin, ja toinen toimii masterina, toinen slavena. Lisäksi kaapissa on analogiatulomodulaari, jossa on 8 tuloa, jotka toimivat signaaleilla $-10V \dots +10V$, $0 \dots 20 \text{ mA}$ sekä $4 \dots 20 \text{ mA}$. (ABB 1992.)

Logiikan tehtävänä on ollut valvoa varmistetun verkon jännitettä ja käynnistää generaattori, silloin kun verkossa havaitaan ongelma. Logiikka on ohjannut generaattoria täysin automaattisesti. Lisäksi mahdollisuutena on ollut ohjaus paikallisesti logiikan ohjauspaneelilta, johon myös mahdolliset virheilmoitukset ovat tulleet. Aikaisemmassa sovelluksessa logiikkakäyttö on ollut ensisijainen käyttötapa ja käsikäyttö muualta kuin logiikan ohjauspaneelilta on ollut ensisijaisesti vain hätätilannetta varten.

Kuva 13 on esitetty kaappi DG1 kannet avattuna. Kuvasta on nähtävissä logiikan keskusyksiköt, analogiatulot sekä suojalaitteet.



Kuva 13. Logiikkakaappi DG1 avattuna

Kuva 14 on esitetty logiikan ohjauspaneeli. Paneelin näytölle tulevat logiikan virheilmoitukset. Ohjauspaneelin painikkeilla ohjataan koneikon toimintaa logiikkakäytön ollessa valittuna.



Kuva 14. Logiikan ohjauspaneeli

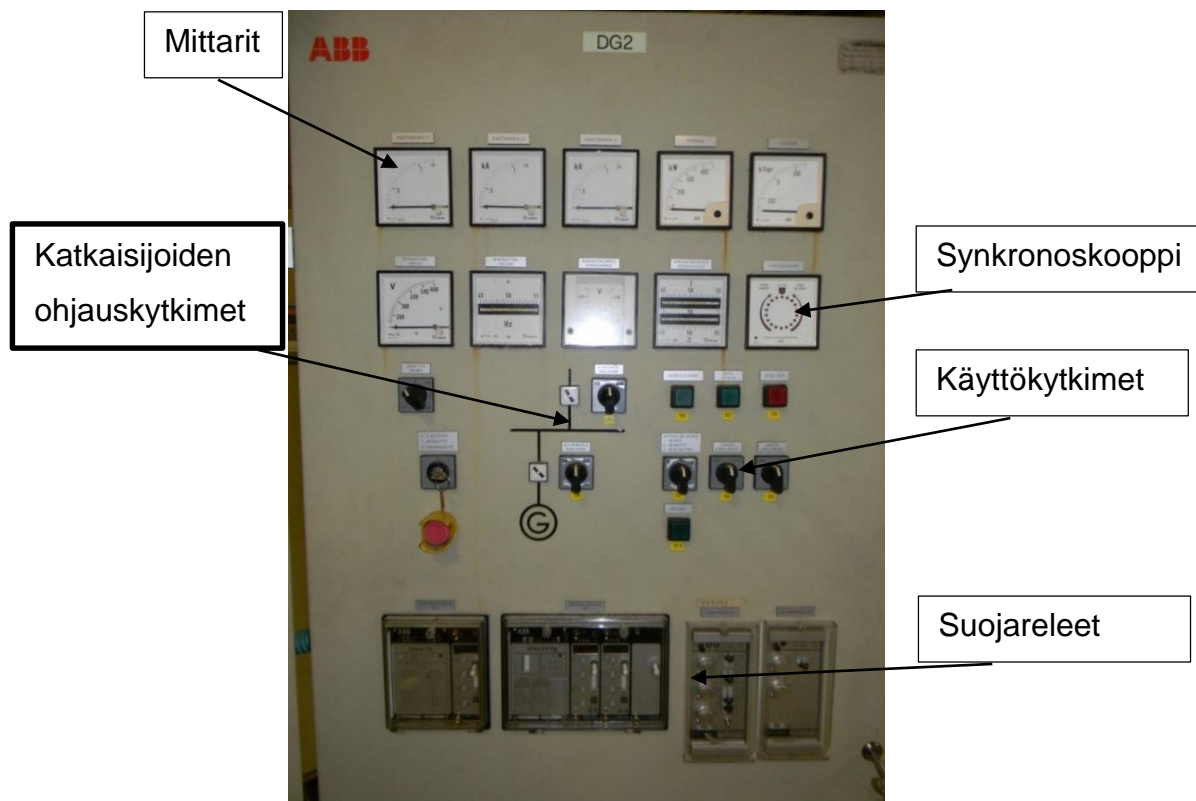
6.4 Suojaus- ja magnetointi, DG2

Suojaus- ja magnetointikaappi käsittää generaattorin suojaukseen ja magnetointiin tarvittavat komponentit. Laitteet on sijoitettu keskuskaappiin DG2. Suojaus käsittää joukon erilaisia suojareleitä, joilla generaattorin suojaus on toteutettu. Suojareleet on esitelty osiossa 6.5. Magnetointiin kuuluvat magnetointipiirissä tarvittavat komponentit kuten jännitteensäätäjä ja ylivirtasuojakytkin. Kaappiin on sijoitettu myös tahdistuksessa tarvittavat komponentit, kuten verkkotahdistin ja ohjauskytkimet. Kaappiin liittyvät piirikaaviot, joissa kytkentöjä voi tarkastella, on esitetty tämän työn liitteessä 2.

6.4.1 Rakenne

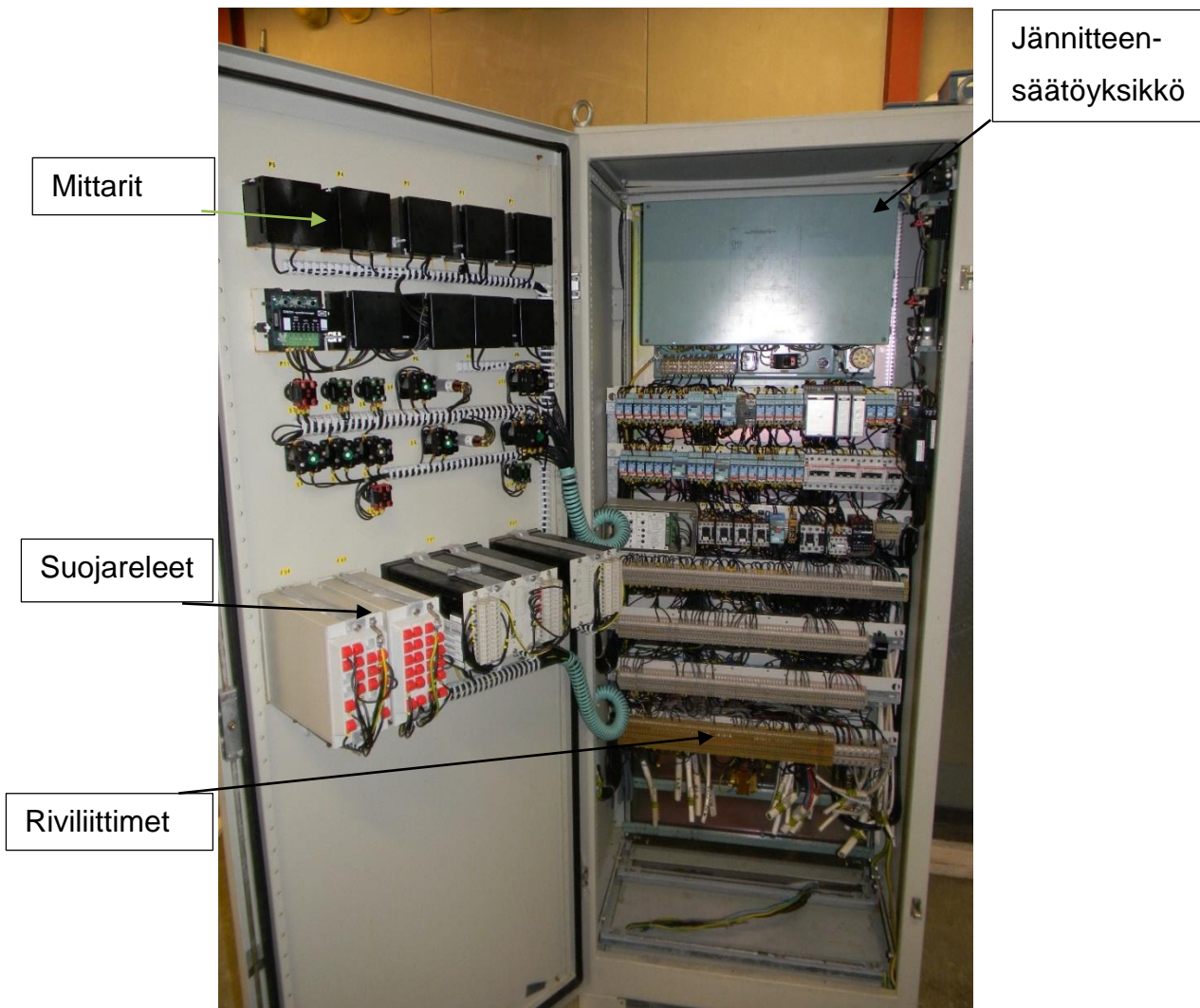
Laitteet on sijoitettu kaapin sisäpuolelle, lukuun ottamatta suojareleitä, ohjauskytkimiä, mittareita ja tahdistinta, jotka on sijoitettu kaapin oveen.

Kuva 15 on esitetty DG2:n etupaneeli. Ylinnä sijaitsevat mittarit, järjestyksessä vasemmalta ylhäältä: kunkin vaiheen staattorivirrat (kA), pätöteho (kW), loisteho (kvar) sekä generaattorijännite ja -taajuus. Seuraavat mittarit ovat tahdistuksen mittareita: generaattorijännitteen ja verkkojännitteen vertailu, generaattoritaajuuden ja verkkotaajuuden vertailu sekä synkronoskooppi. Mittalaitteiden alapuolella sijaitsevat käyttö- ja ohjauskytkimet, vasemmalta lukien: jännitteen mittauksen valintakytkin, käsi- tai logiikkakäytön valintakytkin, hätäseis, katkaisijoiden ohjauskytkimet, katkaisijan kiinniohjauspainike, katkaisijan ohjauksen valintakytkin, kuittauspainike, dieselin käynnistys- ja pysäytyspainike sekä taajuuden ja jännitteen säätökytkimet käsintahdistusta varten. Alinna sijaitsevat suojarleet: generaattorisuojat SPAM 110 ja SPAG 310C sekä verkon suojat SPAJ ja SPAM.



Kuva 15. DG2 etupaneeli

Kuva 16 on esitetty DG2 kannet avattuina. Kaapissa ylinnä sijaitsee jännitteen-säätäjä ja siitä alaspäin lukien releet, johdonsuojakatkaisijat ja joku muu, riviliittimet ja alinna 230 VAC -> 110 VDC-muuntaja, jolla muunnetaan jännite ohjauspiirille sopivaksi. Releiden korkeudella kaapin oikeassa seinässä on havaittavissa magnetoinnin ylivirtasuojan katkaisija.



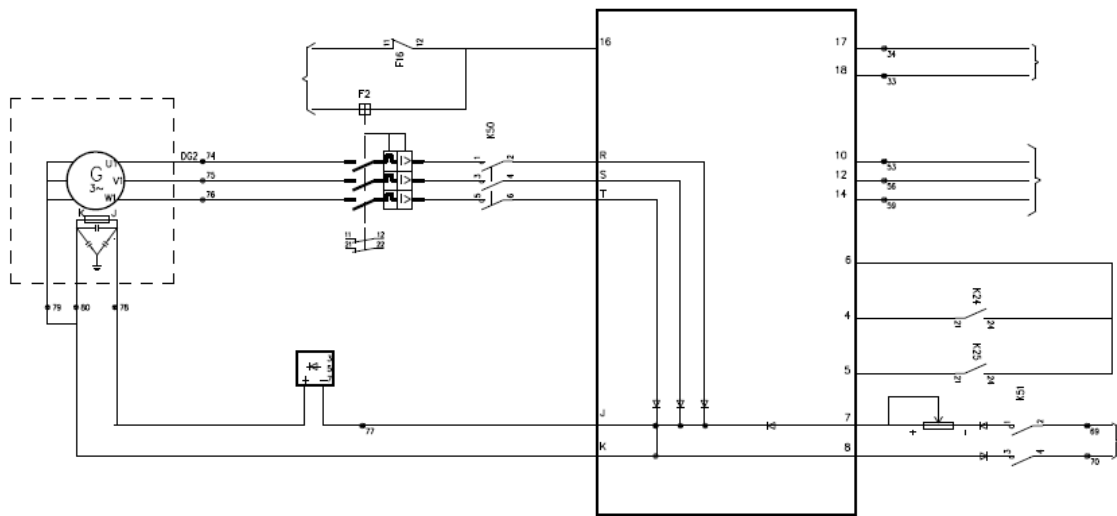
Kuva 16. DG2 kannet avattuna

6.4.2 Jännitteensäätäjä

Tahtigeneraattorin magnetointi hoidetaan Strömbergin SMUJ 75 K4 -tyyppisen jännitteensäätäjän avulla. Säätäjällä varustettu generaattori on itsemagnetoitava, eli säätäjän magnetointiteho otetaan generaattorin staattorikäämin väliulosotoilla

säätöyksikön ohjaaman tyristoritasasuuntaajan kautta Kaavio 5 mukaisesti. Jännitteen oloarvon asettelu tuodaan säätäjän liittimiin 10, 12 ja 14 sekä virran oloarvon asettelu liittimiin 17 ja 18. (Strömberg 1977, 1–4.)

Kaavio 5 esitetty kytkentä on tässä työssä käytetyn jännitteensäätäjän kytkentä sellaisenaan. Piirikaavio on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 3.



Kaavio 5. Jännitteensäätäjän kytkentä oikosulkutasasuuntaajalla, jossa magnetointijännite otetaan staattorin väliulosotoista.

Oikosulkutilanteessa säätäjän oloarvojännite putoaa huomattavasti, jolloin se pyrkii nostamaan magnetointivirtaa. Kaksivaiheisessa oikosulussa säätäjän kolmas, ehjän vaiheen tyristori avautuu täysin auki, jolloin sen syttymiskulma laskee minimiin. Yleensä tämä riittää tässä tapauksessa ylläpitämään oikosulkuvirtaa, jonka suuruus riittää laukaisemaan verkon suojalaitteet. Edellä mainittu pätee myös maasulkutilanteessa. (Strömberg 1977, 4.)

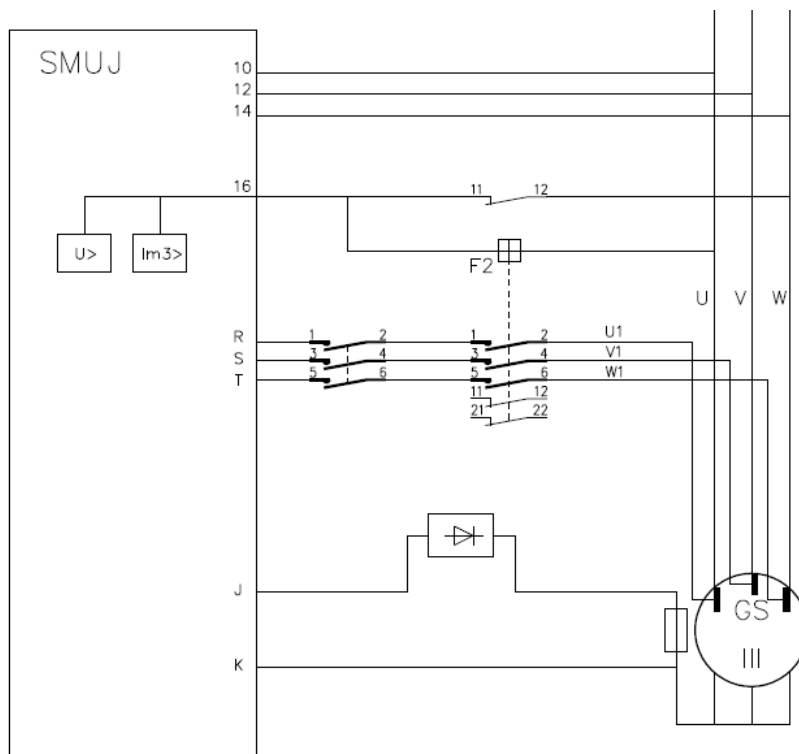
Kolmivaiheisen oikosulun sattuessa staattorijännite putoaa nolleen, jolloin säätäjä ei saa syöttöjännitettä. Tästä seuraa magnetointikään virran lasku, joka aiheuttaa staattorivirran nopean putoamisen. Kun halutaan generaattorista rajoitettu oikosulkuvirta kunnes suojalaitteet laukeavat, lisätään magnetointipiiriin dioditasasuuntaaja. Tasasuuntaajaa syötetään staattoripiirissä olevalla virtamuuntajalla, joka mitoitetetaan siten, että rautasydämen kyllästyminen rajoittaa staattorin

oikosulkuvirran haluttuun arvoon, yleensä 2-2,5-kertaiseksi verrattuna nimellisvirtaan. (Strömberg 1977, 5.)

Jännitteensäätäjä on kytketty generaattorin staattoriin väliulosottoon automaattisen ylivirtasuojakytkimen ja magnetoinnin syöttökontaktin kautta. Suojakytkimen tehtävä on erottaa säätäjä generaattorista säätäjän ja tai magnetointipiirin oikosulkutilanteessa. Suojakytkimessä on apukoskettimet, jotka on kytketty ohjaamaan generaattorin katkaisijaa siten, että suojakytkimen lauetessa myös katkaisija avautuu. Suojakytkimen apukäämiin on lisäksi kytketty vielä kaksi erillistä suojapiiriä, ylijännitesuoja ja herätyspiirin ylivirtasuojaa. (Strömberg 1977, 7.)

Ylijännitesuoja on viritetty siten, että se laukaisee suojakytkimen, jos generaattorin pääjännite U_{RS} nousee 25 % nimellisjännitettä suuremmaksi yli 0,5 sekunnin ajaksi. Piirin tarkoitus on estää säätäjän vaurioituminen, jos generaattorijännite jostain syystä nousee liian korkeaksi. Ylijännitesuojan toimintarajat ovat kuitenkin verkon kannalta liian korkeat, joten se on tarkoitettu yksinomaan jännitteensäätäjän suojaamiseen ja verkon suojaus on toteutettava toisella tavalla. (Strömberg 1977, 7.)

Herätyspiirin ylivirtasuojakytkimen e1 tarkoitus on laukaista suojakytkin jos herätyksen laukaisupiiri ei vian takia katkea kun generaattorijännite nousee. Ylivirtasuojaa laukeaa myös silloin, kun generaattorin jännite jää jostain syystä herätyspiirin toimintarajan alle. Toimintaraja on noin 50 % nimellisjännitteestä. Esimerkiksi jos tyristorisilta ei toimi lainkaan ja herätyspiiri syöttää yksin magnetointivirtaa, laukaisu tapahtuu muutaman minuutin kuluttua. (Strömberg 1977, 7.)



Kaavio 6. Säättäjän suojauksen periaatekuva

Kaavio 6 on esitetty jänniteensäätäjän suojauksen periaatekuva. Generaattorin väliulosotoista on otettu syöttö jännitesäätäjälle, suojakytkimen ja kontaktorin kautta. Suojakytkimessä ylijännite- sekä ylivirtalaukaisut, jotka suojaavat jänniteensäätäjää mahdolliselta vikatapaukselta väliulosotoissa. Magnetoinnin syöttö kytketään normaalissa tilanteessa säätäjälle magnetoinnin ohjauskontaktorin kautta. (Strömberg 1977, 7.)

Magnetointi generaattorille tuodaan säätäjän navoista J ja K. J-napa on tuotu oikosulkutasasuuntaajan kautta. Oikosulkutasasuuntaaja huolehtii generaattorin magnetoinnista oikosulkutilanteessakin, jossa magnetointijännite muuten putoaisi jyrkästi. Generaattorilla on oltava magnetointi myös oikosulkutilanteessa, jotta se syöttäisi verkkoon oikosulkuvirtaa. Riittävä oikosulkuvirta on välttämätön suojalaitteiden toimimisen kannalta.

6.4.3 Tahdistin

Generaattorin tahdistimena toimii täysin automaattisesti toimiva Deif FAS-3R. Tahdistimessa on kaksi relelähtöä, joiden toimintaa voidaan ohjata potentiometreillä tehtävillä asetteluilla.

Ominaisuuksia

- Synkronointisignaali liittimistä 21–23 perutaan, jos jännite-ero poikkeaa liiaksi asetellusta arvosta ΔV_{max} .
- Taajuusohjaussignaali liittimistä 1-3 perutaan, jos jännite-ero poikkeaa liiaksi asettelusta arvosta ΔV_{max} .
- Relelähtö 31–33 sulkeutuu, jos generaattorin jännite on liian alhainen, eli.
- $\Delta V > - \Delta V_{max}$.
- Relelähtö 41–43 sulkeutuu, jos generaattorin jännite on liian korkea, eli.
+ $\Delta V > + \Delta V_{max}$.
- Jännitteen tahdistusreleet eivät toimi, jos joko generaattorin tai vertailtavan verkon/kiskoston jännite jäävät alle nimellisen, raja on 70% nimellisestä jännitteestä.
- Jos $\pm \Delta V < \pm \Delta V_{max}$, molemmat releet päästävät ja jännitettä ei enää vertailla, ts. generaattorin jännite on asetellun ikkunan sisäpuolella.
Asettelu tehdään säätämällä ΔV_{max} .

Tahdistin koostuu kahdesta osasta: tahdistusreleestä ja kontrollerista. Releen tehtävänä on antaa katkaisijalle tahdistuskäsky jos seuraavat ehdot täyttyvät (Deif A/S):

- Taajuusero on pienempi kuin aseteltu maksimiarvo, Δf
- Taajuusero on positiivinen, eli generaattorin taajuus on korkeampi kuin syöttävän verkon taajuus, $f_G > f_B$
- Vaihe-ero on pienempi kuin 72°
- Jännite-ero on pienempi kuin aseteltu maksimiarvo, ΔV_{max}

Kontrollerin tehtävä on ohjata dieselin pyörimisnopeutta ja siten generaattorin taajuutta, jotta ehdot 1-3 täyttyvät. Kontrollerin toiminta on estetty ennen tahdistusta, jos jännite-ero ΔU on pienempi kuin aseteltu maksimiarvo ΔU_{max} . Tahdistuksen jälkeen kontrollerin toiminta on jälleen estetty, jotta taajuus ei tahattomasti muuttuisi. Kontrolleri ohjaa pyörimisnopeutta servomoottorin välityksellä (Deif A/S.):

- Jos taajuusero on negatiivinen, eli generaattorin taajuus on pienempi kuin syöttävän verkon taajuus, servomoottorille tulee jatkuva ohjaussignaali, kunnes verkon taajuus on saavutettu.
- Jos taajuusero on positiivinen, eli generaattorin taajuus on suurempi kuin verkon taajuus, ohjaa kontrolleri servomoottoria, kunnes generaattorin taajuus on laskenut verkon tasolle.

Tahdistamista varten DG2:n kannessa on jännite- ja taajuusmittarit sekä synkronoskooppi, josta nähdään vastaako pyörimisnopeus verkon taajuutta.

6.5 Generaattorin suojalaitteet

Kentässä DG2 sijaitsevat generaattorin suojareleet, joita kentässä on neljä kappaletta. Suojareleet toimivat jännitteellä 110VDC, joka toteutetaan erillisellä jännitemuuntajalla. Kentässä olevien suojareleiden toiminta on kuvattu tässä osiossa. Alkuperäisen sovelluksen suojauskaavio ja laukaisumatriisi on esitetty liitteessä 4.

6.5.1 SPAG 310 C

SPAG 310 C1, (DG2:F01) on generaattorin suojarele, joka sisältää tärkeimmät generaattorin ja sitä käyttävän voimakoneen suojaustoiminnot ja kaksi kuormanpudotusporrasta. Voimakoneen suojana releessä on takatehosuojaus, joka estää generaattoria pyörimästä moottorina. Generaattori itsessään ei vaurioidu vaikka se ottaisi verkosta virtaa, sen sijaan moottori voi vaurioitua herkästi, mikäli generaattori alkaa toimia moottorina. Generaattorin suojana ovat jännitteennoususuoja ja oikosulkusuoja. Jännitteennoususuojaus on toteutettu kaksiporraisella

ylijänniteyksiköllä ja oikosulkusuojaus ylivirtayksiköllä, jossa on sekä pikalaukaisu-, että aikahidastettu ylivirtaporras. Suojauspaketin toista ylivirtayksikköä käytetään generaattorin syöttämän verkon ylikuormituksen ehkäisyyn. Yksikön toista tai molempia portaita voidaan käyttää kuormapudotukseen. (Strömberg 1991, 2.)

Toimintatapa

Suojareleyhdistelmässä on kolme mittaavaa pistoyksikköä. Takatehosuojaukseen sekä generaattorin ylijännitesuojaukseen käytetään ylijännite- ja takatehoysikköä SPCP 3C2. Oikosulkusuojaukseen ja kuormanpudotukseen käytetään ylivirtayksikköä SPCJ 3C3. (Strömberg 1991, 2.)

Ylijännitesuojaukseen kuuluu kaksi porrasta, $U>$ ja $U>>$, joista ensin mainitun havahtumiskynnys ja toimintaviive ovat etukäteen aseteltavissa potentiometrein. $U>>$ -portaalle on valittavissa neljä havahtumisarvoa ja neljä toiminta-aikaa. Kun jännite ylittää $U>$ -portaan asetellun arvon, havahtuu porrast ja asetellun toiminta-ajan jälkeen antaa ohjauksen lähtöreleelle. Kun jännite on laskenut noin 4 % alle portaan asetteluarvon, palautuu lähtörele. $U>>$ -porras toimii samoin kuin $U>$ -porras ohjaten samaa lähtörelettä. (Strömberg 1991, 2.)

Takatehoporrast mittaa yksivaihetehoa generaattorin ja verkon välillä vaiheiden L1 ja L2 välisen virran ja jännitteen perusteella. Jos pätötehon suunta muuttuu verkosta generaattoriin päin ja takatehon asetteluvarvo ($P</P_n$) ylittyy, porrast havahtuu. Asetellun aikahidastuksen (t_p) kuluttua annetaan lähtöreleelle ohjaus. (Strömberg 1991, 2.)

Ylivirtayksikkö on kolmivaiheinen ja sisältää kaksi ylivirtaporrasta ($I>$ ja $I>>$). Kummankin portaan havahtumiskynnykset ja toiminta-ajat on potentiometrein aseteltavissa. $I>$ -porrast on ohjelmoitavissa toimimaan joko vakioaikaisena tai käänteisaikaisena. Samoin, kuin ylijännitesuojan tapauksessa, mitatun virran ylittäessä portaan $I>$ asetteluvarvon ($I>/I_n$), havahtuu porrast ja antaa asetellun viiveen ($t>$) jälkeen lähtöreleelle ohjauksen. Virran laskettua noin 4 % alle asetellun arvon

palautuu lähtörele. Molemmat ylivirta portaavat toimivat samalla periaatteella. (Strömberg 1991, 4.)

Kuva 17 on nähtävillä generaattorisuoja F01 etupuoletta. Asettelupotentiometrit ja flippikytkimet ovat kuvasta nähtävissä.



Kuva 17. Generaattorisuoja SPAG 310 C1 (F01)

6.5.2 SPAM 110

SPAM 110 (DG2:F02) on mikroprosessoripohjainen vakiosuojarele moottoreiden suojaamiseen. Sen ominaisuuksia ovat terminen ylikuormitussuojaus, nopea oikosulkusuojaus, käynnistys- ja käyttöjumisuojaus, vaihekatkos- ja syöttöverkon epäbalanssisuojaus ja maasulkusuojaus. (Strömberg 1987a, 1.)

Toimintatapa

Suojareleen yhdistetty ylikuormitus- ja käynnistysjumisuojaelin muodostaa suojareleen termisen suojayksikön, joka valvoo moottorin/generaattorin termistä rasitustilaa. Koneen terminen käyttäytyminen perustuu eksponenttifunktioon, jonka huippu tasaantuu arvoon, joka määräytyy kuormitusvirran neliöstä. Ylikuormituselimen toiminta määritellään kahdella releasettelulla. Asetteluvirta I_0 määrää ter-

misen toimintatason ja asettelu aika t_{6x} määrää toiminta-ajan. Asetteluvirta on painotettu niin, että ylikuormitussuoja toimii äärettömän ajan kuluessa, kun kuormitusvirran arvo on $1,05 \times I_\theta$. Asettelu aika t_{6x} on sama kuin ylikuormitussuojan toiminta-aika, kun kuormitusvirta on $6 \times I_\theta$. (Strömberg 1987a, 3.)

Virranmittauksen tulopiirejä valvotaan multiplekserillä ja suurimman vaihevirran ja aseteltujen arvojen avulla muodostetaan termistä tilaa vastaava lämpenemäkuvaaja. Kun saavutetaan 100 % koneen rakenteellisesta termisestä kapasiteetista, lähtörele toimii. Koneen jäähdyttyä niin, että termisestä kapasiteetista on käytettävissä jälleen yli 50 %, palautuu lähtörele, jos kytkimellä S3 ei ole toisin valittu, jolloin lähtörele on palautettava käsin. Ylikuormitussuojalta on mahdollisuus saada ennakkohälytys termisestä laukaisusta, hälytys on ohjelmoitavissa lähtöreleelle B, jolloin hälytystieto lähtee, kun moottorin termisestä kapasiteetista on käytetty 95 %. (Strömberg 1987a, 3.)

Ylikuormituselimeen kuuluu myös käynnistysjumisuoja, jonka toiminta perustuu nopeutettuun ylikuormitussuojaan, joka laukaisee lähtöreleen, jos koneen kuormitusvirta ylittää tason $2 \times I_\theta$ ja jumisuojan ohjaustulossa on ohjausjännite. Ohjausjännite voi olla jatkuvasti kytketty tai kierrosnopeusvahdin ohjaama.

Jumisuojan ollessa käytössä nopeutuu ylikuormitussuojan toiminta niin, että jumitilanteessa toiminta-aika on 75–50 % normaalista toiminta-ajasta. Koneen ollessa pysähdyksissä ylikuormitussuojan jäähtymisaikavakio on kaksinkertainen lämpenemisaikavakioon verrattuna. Suojausteknisesti kone on pysähdyksissä, kun kuormitusvirta on pienempi kuin $0,12 \times I_\theta$. (Strömberg 1987a, 4.)

Ylivirtasuoja toimii suojarleen pikalaukaisuportaana, joka muodostaa oikosulkusuojan, kun kyseessä on katkaisijaohjattu käyttö. Kun havahtumistaso $I_{>>}$ ylittyy virranmittauspiirissä, ylivirtasuoja havahtuu ja lähtörele toimii 50 ms sisällä. Rele palautuu automaattisesti, kun vika poistuu, paitsi jos kytkimellä on valittu niin, että rele on palautettava käsin. Ylivirtasuoja automatiikan ansiosta havahtumisvirran $I_{>>}$ arvo kaksinkertaistuu käynnistymisen yhteydessä, jolloin oikosulkusuojan havahtumisvirta on aseteltavissa pienemmäksi kuin käynnistysyhtä-

virta. Lisäksi automatiikka laukaisee koneen irti, jos se roottori jumittuu. Pikalaukaisu on kytkettävissä pois käytöstä, mikäli oikosulkusuojaus on hoidettu sulakkeilla. (Strömberg 1987a, 4.)

Kuva 18 on nähtävissä generaattorisuoja F02. Kuten suojassa F01, myös tässä suojassa asetellut ovat etupaneelissa.



Kuva 18. Generaattorisuoja SPAM 110 (F02)

6.5.3 SPAU 1F100 J3

SPAU 1F100 J3 on vakioaika-alijänniterele, joka on tarkoitettu yksivaiheiseksi jännitteenvälvontareleeksi. Sitä voidaan käyttää sekä kiskojännitteen seurantaan, että moottorien alijännitesuojaukseen. (Strömberg 1987b, 1.)

Toimintatapa

Rele havahtuu, kun mittausjännite alittaa asetellun arvon. Havahtuminen käynnistää laukaisukoskettimen hidastuspiirin ja asetellun hidastuksen jälkeen releen laukaisukosketin toimii ja lisäksi rele antaa hälytyksen. Jos rele ehtii palautua en-

nen laukaisua, myös hidastuspiiri nollautuu. Releen toiminta on lukittavissa apujännitteen avulla. Lukitus vaikuttaa vain hidastuspiirin jälkeisiin elimiin, joten laukaisukoskettimet voivat toimia heti lukituksen poistuttua, jos rele on sillä hetkellä havahtuneena ja hidastuspiiri on toiminut. (Strömberg 1987b, 2.)

Kun mittausjännite nousee enemmän kuin 4 % yli asetellun arvon, rele palautuu. Releen palautumisaika on vakio, eikä se riipu asetteluista. Suojareleen mittauspiirissä on tehokas alipäästösuodin joissain tilanteissa mittausjännitteessä esiintyvän kolmannen yliaallon suodattamiseksi. Perusaalto läpäisee suodattimen täysin, mutta kolmas harmoninen aalto vaimenee 1-2 prosenttiin alkuarvostaan. (Strömberg 1987b, 2.)

Releen nimellisjännite U_N on 100 V, mutta tulopiirin jatkuva kestoisuus on $1,7 \times U_N$, ja asettelualue $1,1 \times U_N$. Tämä mahdollistaa releen käytön 110 voltin nimellisjännitteisissä piireissä. Rele toimii työvirtaperiaatteella, toisin kuin jännitereleet, jotka saavat tarvitsemansa tehon mittauspiiristä. Alijännitteellä releen koskettimet toimivat, palautuen apujännitteen hävittyä. (Strömberg 1987b, 2.)

6.5.4 SPAJ 3C5 J3

SPAJ 3C5 J3 on kolmivaiheinen vakioaikaylivirtarele, jossa on erikseen aseteltavat pikalaukaisuvirta $I_{>}$ ja havahtumisvirta $I_{>}$. Rele voi valvoa myös kahta vaihetta, huolimatta siitä, että se on kolmivaiheinen. Releen toinen toimintaporras on lukittavissa apujännitteellä. Rele on tarkoitettu käytettäväksi aikaselektiivisyyteen perustuvissa oikosulkusuojissa sähkö- ja teollisuuslaitosten jakeluverkoissa. Relettä voidaan käyttää myös pienten tehomuuntajien ja generaattorien oikosulkusuojana tai isojen muuntajien ja generaattorien varaoikosulkusuojana. (Strömberg 1981, 1.)

Toimintatapa

Rele havahtuu, jos mittausvirta ylittää yhdessä, kahdessa tai kolmessa vaiheessa asetellun toiminta-arvon $I_{>}$. Releen havahtuessa käynnistyy aikahidastuspiiri ja asetellun hidastuksen jälkeen (0,2-30s) rele toimii. Kun virta laskee jokaisessa

vaiheessa vähintään 4 % alle asetellun arvon, rele palautuu. Palautumisaika on vakio <60ms. (Strömberg 1981, 2.)

Suojareleessä on kaksi apurelettä, A ja B. Aikahidastettu toimintasygnaali saadaan normaalisti apureleeltä A, mutta se voidaan saada myös apureleeltä B, tällöin sygnaali on mahdollista ohjelmoida hidastamattomaksi tai vakiohidastetuksi, jolloin hidastus on 100 ms. (Strömberg 1981, 2.)

Pikalaukaisu I>> voidaan asettaa ohjaamaan apurelettä A tai B, ilman hidastusta tai 100 ms hidastuksella. Pikalaukaisulla voidaan tarvittaessa estää havahtumissygnaali, esimerkiksi pikalaukaisun yhteydessä estetään jälleenkytkennät. (Strömberg 1981, 2.)

Kaikki toiminnot, joille voidaan asettaa 100 ms viive, voidaan lukita erillisellä apujännitteellä. Releen sovitusmuuntajat on linearisoitu, joten esimerkiksi moottorin verkkoon kytkemisen yhteydessä käynnistysvirrassa esiintyvä tasavirtakomponentti ei juurikaan vaikuta releen varsinaisiin mittauspiireihin. Täysin kehittyneen tasavirtakomponentin vaikutus pikalaukaisuun on alle 5 % asetellusta arvosta. (Strömberg 1981, 2.)

Kuva 19 on esitetty verkon puolen suojareleet. Vasemmalla SPJ 3C5 ja oikealla SPAU 1F100.



Kuva 19. Verkon suojarleet. Vasemmalla SPJ 3C5 ja vasemmalla SPAU 1F100

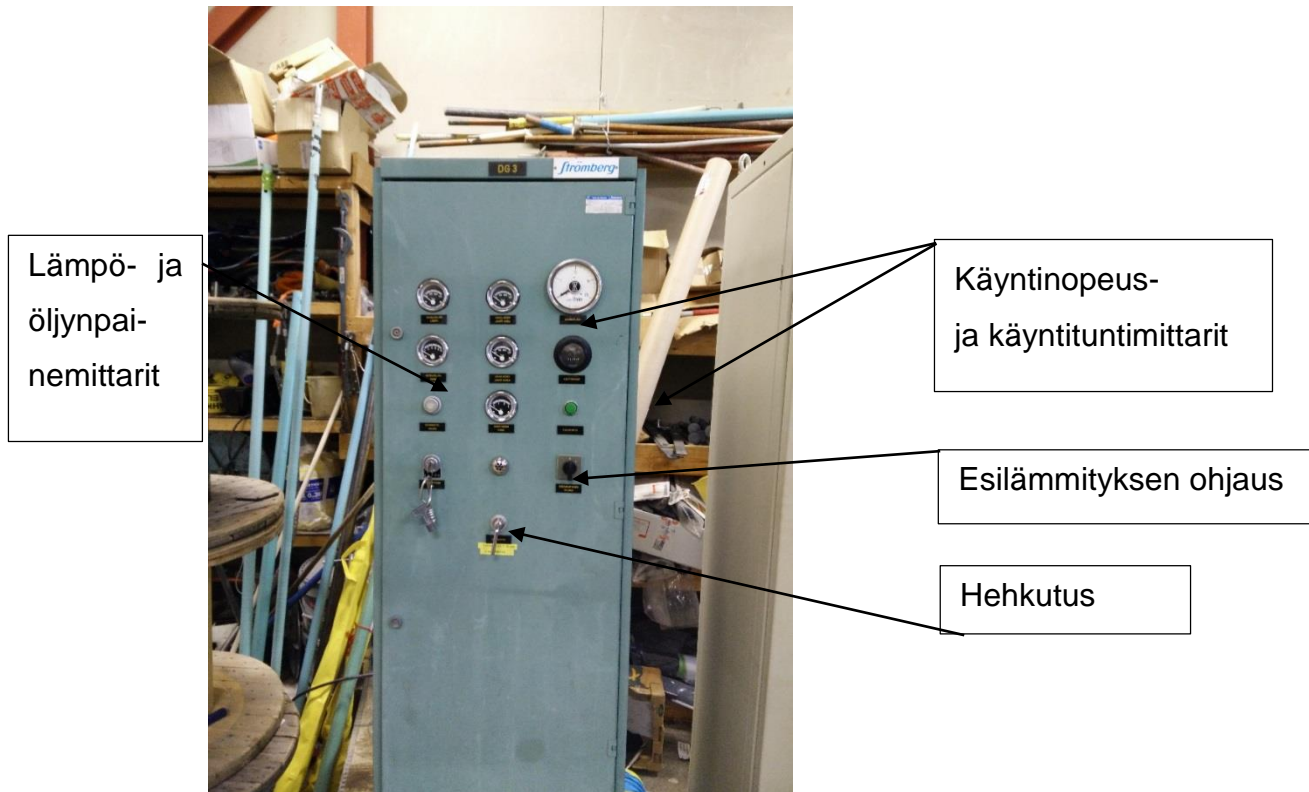
6.5.5 Bender SFE140

Bender SFE140 on taajuusrele, joka suojaa yli- ja alitaajuudelta. Suojareleen asettelut kattavat alueen $\pm 0,5 \dots \pm 3$ Hz nimellistaajuudesta. Lähtöreleessä on kaksi vaihtokosketinlähtöä. Releen toiminta on yksinkertainen, jos taajuus f_N ylittää ja alittaa asetellun arvon Y, lähtörele toimii ja releen häiriövalo syttyy. Rele toimii myös alijännitteellä. (W. Bender GMBH & CO.)

6.6 Dieselin ohjauskaappi, DG3

DG3 on itse dieselmoottorin ohjaukseen käytettävä kaappi ja se sisältää dieselin omakäyttöön liittyviä komponentteja ja mittauksia, kuten esilämmitysten ohjaukset, hehkutus, kierrosnopeuden mittaaminen, jäähdytysveden lämpötilan mittaaminen ym.

Kuva 20 on esitetty dieselin ohjauskaappi DG3 kannet suljettuna. Kuvasta on nähtävissä esilämmityksen ja hehkutuksen käyttökytkimet, öljynpaine- ja vedenlämpömittarit, käyttötunti- ja käyntinopeusmittarit sekä on-off-avainkytkin.



Kuva 20. Dieselin ohjauskaappi DG3

Kuva 21 sama kaappi on kannet avattuna. Kuvasta näkee releistuksen, riviliittimien sijainnin, etukojeet, joihin kuuluvat tulppavarokkeet, sekä suojakytkin, käynnistyksen ohjausreleet, esilämmityksen ohjausreleet sekä hehkutuksen vartiointi-, sekä esihehkutusvastus.



Etukojeet

Käynnistyksen
ohjausreleet

Hekcutuksen
ohjausreleet

Hekcutuksen val-
vonta- ja ohjaus-
vastukset

Riviliittimet

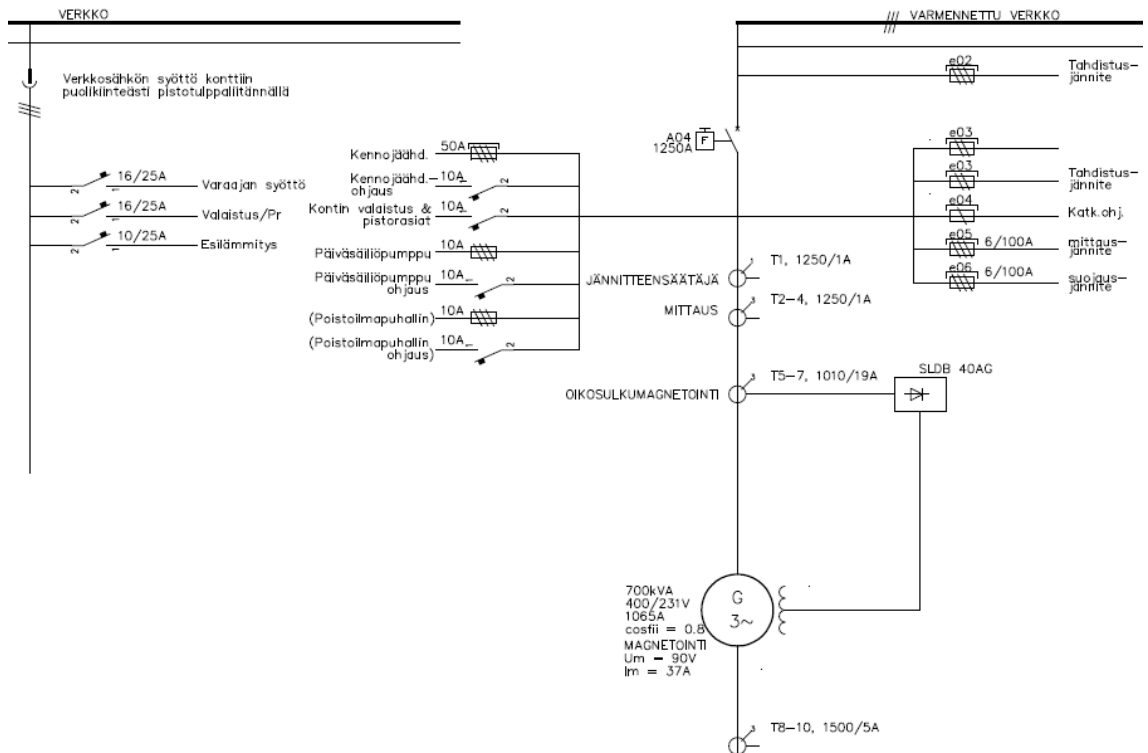
Kuva 21. DG3 kannet avattuna

Dieselin ohjauskaapin DG3 tarkoituksena on ohjata dieselin käyntiin liittyviä toimia, kuten esilämmitystä sekä hehkutusta. Dieselin käynnistymiseen vaadittavat käynnistysreleet sijaitsevat myös tässä kaapissa. Releiden asentotieto johdetaan ohjauskaappiin DG2.

Kaapin DG3 valvonta- ja ohjauslaitteet johdotetaan suoraan dieselin kytkentäkoteloille, joissa ohjattavat komponentit sijaitsevat. Johdotukset ja kytkennät on esitetty tämän työn liitteessä 5.

6.7 Muut kokonaisuuteen kuuluvat osat

Varavoimakonekokonaisuuteen kuuluu lisäksi joukko sen toiminnan kannalta välttämättömiä komponentteja, jotka on esitelty tässä osiossa. Osiossa esiteltujen valmiiden komponenttien lisäksi varavoimakontiin on lisättävä kytkentäkotelo tai keskus, jolla korvataan kiinteässä sovelluksessa pääkeskukselta syötetyt piirit.



Kaavio 7. Osa generaattorin pääpiirikaaviota

Kaavio 7 on esitetty yksi osa generaattorin pääpiirikaaviota kiinteässä käytössä. Kaaviossa nähtävät mittamuuntajat T1- T10 ja verkon puolella olevat T1-T3 on lisättävä konttiin. Lisäksi konttiin lisättävään kytkentäkoteloon tai keskukseen tuodaan syöttö verkosta kontin ollessa säilytyksessä pistotulppaliitännällä. Syöttö on tuotava siksi, että esilämmittimet ja akuston varaaja toimivat myös silloin, kun diesel ei ole käynnissä. Koko pääpiirikaavio on esitetty liitteessä 6.

Koteloon tai keskukseen tuodaan myös syöttö generaattorin navoilta eli varmennetusta verkosta. Syöttö generaattorilta on tuotava, jotta kennojähdytin ja päi-

väsäiliön polttoainepumppu toimisivat, kun varavoimakone on irrotettu sähköverkosta ja se on käytössä. Tällöin laitteet saavat syöttönsä generaattorin navoista. Lisäksi edellä mainittujen moottorilähtöjen ohjauspiirien syöttö on otettava generaattorin navoilta.

Suojalaitteiden ohjauksien syötöt otetaan myös generaattorin tuottamasta verkosta. Tämä sen takia, että suojaukset toimisivat varavoimakoneen ollessa toiminnassa. Varavoimakontin ollessa kytkettynä pistotulppaliitännällä sähköverkkoon, suojausten ei tarvitse toimia, koska diesel ja generaattori eivät tällöin ole käytössä. Lisäksi ST-käsikirja 31 suosittelee varavoimakonttiin pistorasiaa ja kiinteästi asennettua valaistusta (Hakala ym. 2013, 72), joten niille otetaan syöttö sekä kontin ollessa säilytyksessä, että generaattorin ollessa käynnissä.

6.7.1 Kennojäähdytin

Generaattorissa kiertävä jäähdytysveden lämpötilaa on pystyttävä hallitsemaan, jotta sen lämpötila ei pääse nousemaan liiaksi. Liiasta veden lämpötilan noususta voi aiheutua dieselmoottorin ylikuumeneminen tai jäähdytysveden kiehumisesta aiheutuva dieselmoottorin vaurioituminen. Jäähdytysveden kierrättämistä varten dieselmoottorissa on kiertovesipumppu, joka kierrättää jäähdytysvettä moottorin jäähdytyskanavissa. Kiertävä jäähdytysvedestä on voitava poistaa liika lämpö, jotta vesi ei pääse kiehumaan ja tätä varten kokonaisuuteen kuuluu erillinen kennojäähdytin.



Kuva 22. Varavoimakoneen kennojäähdytin

Kennojäähdytin on esitetty Kuva 22. Varavoimakoneen kennojäähdytin. Toisin kuin kiertovesipumppu, joka toimii mekaanisesti, kennojäähdytin on sähkömoottorikäyttöinen. Moottori on Siemensin valmistama 24.2 kW:n oikosulkukone, jonka nimellinen pyörintänopeus on 1500 rpm. Moottorin akseli on kytketty suoraan jäähdyttimen siipiin, jotka puhaltavat ilmaa kennon läpi näin jäähdyttäen jäähdytysvettä. Moottorin ohjaus on aikaisemmassa sovelluksesta otettu suoraan pääkeskukselta, mutta siirrettävää käyttöä varten käyttöä on muutettava. Siirrettävässä käytössä moottorin syöttö on otettava varmennetusta verkosta tai generaattorin navoista, jotta kennojäähdytin toimisi silloin kun generaattorikin käy. Moottorin käyttöä varten on omat etukojeensa sekä turvakytin.

6.7.2 Polttoainesäiliöt

Varavoimakonekokonaisuuteen kuuluu kaksi kappaletta polttoainesäiliöitä. Sähkömoottorikäyttöinen pumppu pumppaa polttoainetta päiväsäiliöstä käyttösäiliöön. Pumpun ohjaus toteutetaan kontin yhteyteen. Polttoainesäiliöiden yhteyteen olisi syytä lisätä hälytysjärjestelmä, joka ilmoittaa jos polttoaineen määrä päiväsäiliössä laskee liian alhaiseksi.

6.7.3 Akusto

Varavoimakonttiin tarvitaan akustoa kahdesta syystä: dieselmoottorin käynnistystä varten, sekä tahdistuksen ja suojauksen apujännitteen syöttöä varten. Dieselmoottorin käynnistinmoottorin nimellistoimintajännite on 24VDC kun taas tahdistuksen ja suojauksen (DG2) releiden kelan nimellinen jännite on 110VDC. Kahden jännitetason muodostama ongelma on ratkaistavissa siten, akuston nimellisjännite on 24 VDC, jolloin myös varaajan jännite on 24 VDC. DG2:n tarvitsema 110 VDC otetaan 24 VDC-akustosta 24 VDC / 110 VDC-muuntajaa käyttäen. Tällä tavoin ei tarvitse hankkia tai ylläpitää kahta akustoa.

Käynnistysakun yhteydessä on kytkentäkotelo, jossa sijaitsevat käynnistinmoottorin suojalaitteet ja kahvasulakkeet.

7 VARAVOIMAKONEEN SUUNNITTELU

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella konttiin rakennettava siirrettävä varavoimakone, joka tarpeen vaatiessa voitaisiin siirtää turvaamaan sähkönsyöttöä, esimerkiksi viasta tai työtilanteesta johtuvan katkon ajaksi.

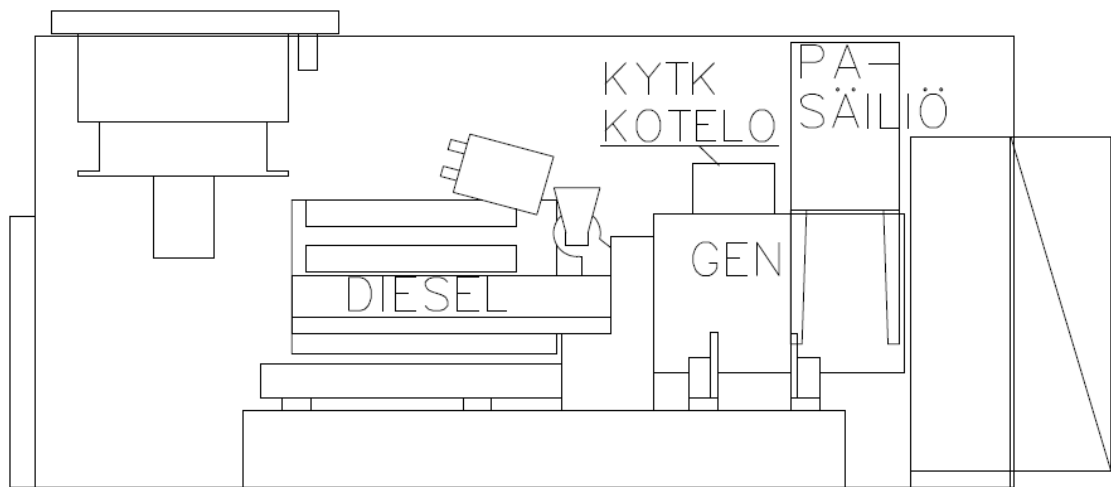
Kun varavoimakonekokonaisuuteen kuuluvat osat oli kartoitettu, niin itse suunnittelutyö voitiin aloittaa. Suunnittelutyöhön kuului ohjaukseen ja suojaukseen sekä niiden muutoksiin liittyvien asioiden lisäksi kontin layoutin suunnittelu.

7.1 Varavoimakontin layoutin suunnittelu

Kontin layoutin suunnittelu kuului siis tämän työn toimenkuvaan. Layoutin suunnittelussa oli otettava huomioon mm. se, kuinka kaikki kokonaisuuteen kuuluvat osat saataisiin mahtumaan konttiin ja kuinka asennustyöt ja huolto mahdollistaisiin tekemään.

Kontti, joka oli työn kohteena, on normaali noin 6 metriä pitkä, n. 2,4 metriä leveä ja n. 2,7 metriä korkea merikontti, johon on hitsattu siirtoa varten vaihtolavakiskot.

Layoutin suunnittelu aloitettiin ottamalla kaikista osista mitat ja piirtämällä niistä CADSiin kuvat. CADSissa valmiiksi piirrettyjä kuvia on helppo liikutella, ja kun ne piirretään mittakaavaan, nähdään heti, että miten osat mahtuvat keskenään konttiin parhaiten. Layoutin suunnittelussa käytin apuna ST-käsikirja 31:n asettamia suuntaviivoja kontin suunnittelulle, sekä kirjassa esitettyjä esimerkkejä erilaisia varavoimakonttien layouteista (Hakala ym. 2013, 51).



Kuva 23. Varavoimakontin layoutin suunnittelua.

Koska kontti oli vain n. 6 metriä pitkä, oli komponenttien sijoittelussa hieman vaikeuksia. Työtä helpotti se, että logiikkakaappi päätettiin jättää kokonaisuudesta pois. Lukuisten vaihtoehtojen jälkeen päädyin Kuva 23. kaltaiseen layoutiin. Kuvan kaltaisessa layoutissa ohjauskaapit on sijoitettu vierekkäin heti kontin ulko-oven taakse ja polttoaineen käyttösäiliö eräässä opinnäytetyössä (Jantunen, 2004, 17) esitetyllä tavalla generaattorin yläpuolelle. Polttoainesäiliön sijoitus kyseiseen paikkaan vaatii hieman muokkausta säiliön jalkoihin, mutta muuta paikkaa on hankala keksiä tilan ollessa rajallinen.

Itse varavoimakoneikko on sijoitettu keskelle konttia sen suurimman painon vuoksi, jolloin kontin painopiste on mahdollisimman keskellä helpottaen näin kuljettamista. Kennojäähdytin on Kuva 23 mukaisessa layoutissa sijoitettu kontin kattoon. Etuseinään sijoittaminen oli ensin tarkoituksen, mutta se ei onnistu, koska vaihtolavakisko on hitsattu etuseinään. Sivuseinään sijoittaminen taas vaatisi koneikon siirtämisen sivusuunnassa, jolloin kontin painopiste muuttuisi liikaa toispuoleiseksi. Kun jäähdytin asennetaan kattoon Kuva 23 mukaisesti, on sen eteen tehtävä suojapelti, jotta lumi tai vesi ei sataisi suoraan konttiin sisään.

Huoltoa ja asennustyötä varten tehdään seiniin tarpeeksi suuret avattavat ja suljettavat huoltoluukut, joiden kautta konttia voisi tarvittaessa myös tuulettaa ke-sällä, jottei kontin lämpötila nousisi liikaa. Kontin koon vuoksi sivusuuntaan jää hyvin vähän tilaa, joten asennus- ja huoltotyö on hyvin vaikeaa, ellei mahdotonta, ilman huoltoluukkuja. Luukkujen tekemisessä on otettava huomioon, ettei kontin jäykkyys pienene liikaa, mutta kontin seinät ovat aaltomaista paksua peltiä ja luukkuihin voi tehdä karmit jäykkyyttä lisäämään. Layout-kuva on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 7.

Konttiin asennetaan lisäksi kiinteästi ainakin yksi valaisin ja yksi pistorasia. Valaisimet asennetaan kontin kattoon tai mahdollisesti sivuseiniin ja pistorasiat asennetaan seiniin siten, että niistä on tarvittaessa apua, esimerkiksi huoltotyötä tehdessä. Kaapelointi kontissa tehdään kaapelihyllyille, jotka voidaan asentaa kontin seiniin tai lattiaan.

7.2 Generaattorin tahdistus ja suojaus

Generaattorin ohjauskaappeihin kuuluu erinäinen määrä releitä ja suojalaitteita, joilla koneen toimintaa ohjataan ja valvotaan. Nämä ohjausjärjestelmät vaativat joitain muutoksia, koska edellinen sovellus, jossa konetta on käytetty, on ollut kiinteä.

Aloitin tahdistuksen ja suojauksen muutosten kartoittamisen tutustumalla laitteistoon. Työtä tässä vaiheessa teetti erityisesti se, että kuvia on usealta eri aikakaudelta, ja tuoreimmissakin kuvissa oli joitain ristiriitoja todellisiin kytkentöihin verrattuna. Ohjauskaapit oli purettu siten, että kaapeleiden pätkät merkintöineen oli jätetty paikoilleen ja tämä helpottikin urakkaa. Tein kuvien perusteella kaapelointi- ja riviliitinluettelot, jonka jälkeen aloin purkaa vanhoja kaapeleita pois. Sitä mukaa, kun purin kaapeleita, tarkistin niiden riviliitinnumerot ja merkkasin tekemiini kuviin, jolloin ristiriidat paljastuivat ja kaapelointi- sekä riviliitinluettelosta tuli ajantasaiset.

Ohjaukseen liittyvät kuvat piirrettiin CADSilla ensin digitaaliseen muotoon alkuperäisinä, jonka jälkeen ne käytiin läpi. Kuvia vertailtiin aikaisemmin laadittuihin kaapelointi- ja riviliitinkuviin ja muutokset päivitettiin kuviin. Samalla myös merkittiin kuviin muutkin muutettavat tai poistettavat tai muuten huomioon otettavat asiat.

Loppujen lopuksi tahdistuksen ja ohjauksen kuviin ei tarvinnut tehdä kovin radikaaleja muutoksia. Suurimmat muutokset liittyvät suojauksen ja tahdistuksen mitamuuntajien ja ohjauksien syöttöjen kytkentään, koska ne oli aiemmin otettu generaattorin syöttämästä pääkeskuksesta (osio 6.7). Myös katkaisija täytyi valita, koska myös se oli sijainnut pääkeskuksessa ja näin ollen puuttui kokonaisuudesta.

Mittalaitteiden ja ohjausten suojalaitteiden sijoittamisessa pystyi kuitenkin hyvin pitkälle käyttämään hyväksi jo olemassa olleita kuvia, koska periaate pysyi samana: komponenttien sijoituspaikka vain muuttuisi, pääkeskuksesta varavoimakonttiin. Laitteita varten konttiin on lisättävä kytkentäkotelo tai -keskus.

Generaattorin magnetointi ei sinällään vaadi muutoksia. Ainoastaan oikosulkutasasuuntaaja puuttuu, muuten olemassa oleva magnetointilaitteisto on ajan tasalla. Suojalaitteet eivät myöskään vaadi modernisointia, osaksi myös siksi, koska toimeksiantajalla on jakeluverkossaan käytössä samantyyppisiä suojalaitteita. Katkaisijaksi valittaneen myös samalla perusteella ABB:n 1250A SACE - tyyppinen katkaisija, koska toimeksiantajalla on samaa tyyppiä käytössä sekä koestuslaitteisto olemassa kyseiselle tyyppille. Tahdistuksen ja suojauksen piirikaaviot on esitetty tämän työn liitteinä.

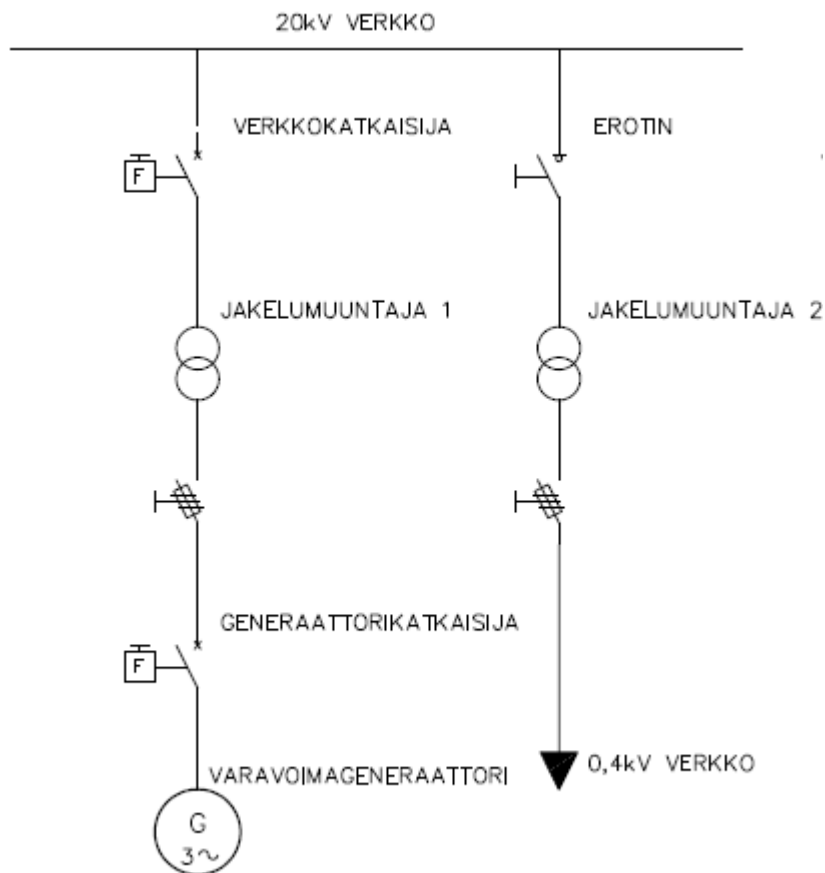
Osiossa 6.7 esitetyssä Kaavio 7 on nähtävillä kokonaisuuteen lisättävät lähdöt.

Osa DG2-kaapissa olevista releistä jää pois käytöstä tässä sovelluksessa, koska ne ovat olleet logiikkakäytön yhteydessä käytössä. Tarvittavat muutokset tehdään kuitenkin vain riviliittimiin, koska se vaatii vähemmän työtä kuin releiden ja niiden johdotusten poistaminen kaapista kokonaan. Lisäksi releet säilyttämällä

säilytetään myös mahdollisuus palata logiikkakäyttöön tai lisätä mahdollisuus logiikkakäyttöön jossain myöhemmässä vaiheessa.

7.3 Generaattorin liittäminen verkkoon

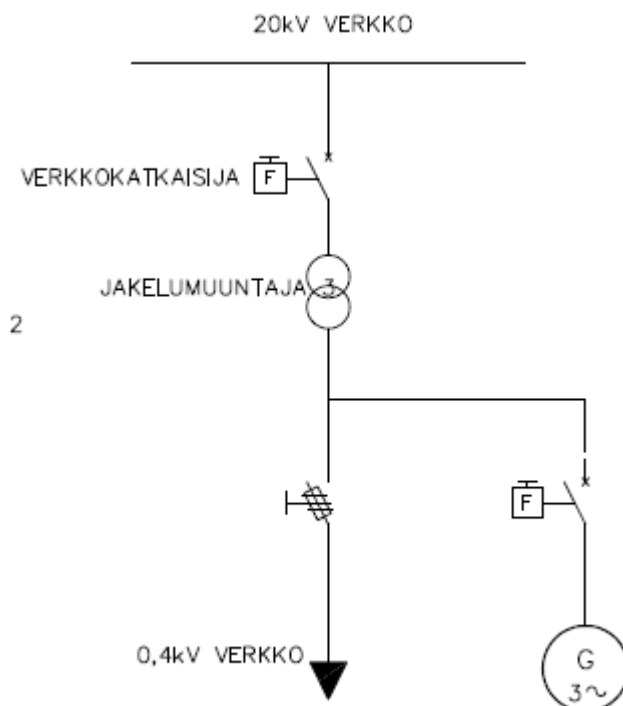
Varavoimakontti suunniteltiin liitettäväksi joko suoraan 0,4 kilovoltin verkkoon, tai vaihtoehtoisesti jakelumuuntajan kautta 20 kV:n verkkoon. Kummassakin tapauksessa varavoimakone kytkettäisiin pylväsvarokekytkimen kautta varmistettavaan verkkoon. Generaattoria varten on tarkoitus rakentaa valmius tärkeimpiin kohteisiin, joissa sähkön saannin turvaaminen katkon pitkittyessä on välttämätöntä, kuten esimerkiksi paikallisen terveyskeskuksen ollessa kyseessä. Valmius tarkoittaa sitä, että kun vika tai katko sattuu, ei generaattoria varten tarvitse alkaa rakentamaan erillisiä kytkentäpisteitä tms. vaan sen saa suoraan kytkeä olemassa olevaan kytkentäpisteeseen.



Kaavio 8. Esimerkkikuva generaattorin liittamisestä verkkoon jakelumuuntajan kautta

Kaavio 8 on nähtävissä periaate, jolla generaattori liitetään verkkoon jakelumuuntajan kautta. Generaattorin on kytketty 20/0,4 kV jakelumuuntajan 0,4 kV:n puolelle pylväsvarokekytkimen kautta, ja se syöttää verkkoa jakelumuuntajan ylitse. Tässä tapauksessa generaattorilla voidaan syöttää esimerkiksi tiettyä johtolähtöä jonkin sen osan ollessa pois käytöstä esimerkiksi huoltotyön aikana.

Huomattava on, että yhdellä katkaisijalla toteutetussa sovelluksessa generaattorin syöttäessä verkkoa saarekkeena, ei generaattoria voi suoraan tahdistaa syöttävään verkkoon, jos syöttävän verkon jännite palautuu. Jos jännite syöttävään verkkoon palautuu kesken saarekekäytön ja halutaan jatkaa rinnankäyttönä, on generaattorikatkaisija avattava ja generaattori tahdistettava uudestaan syöttävään verkkoon. Jotta vältettäisiin tahdistamattoman verkon palautumisesta aiheutuvat verkon heilahtelut, on syytä erottaa generaattorin syöttämä saareke muusta verkosta esimerkiksi erottimen kautta.



Kaavio 9. Esimerkkikuva generaattorin liittämisestä 0,4 kV:n verkkoon

Kaavio 9 on taas esitetty tilanne, jossa generaattori on kytketty syöttämään suoraan 0,4 kV:n verkkoa pylväsvarokeytkimen kautta. Generaattori on jälleen kytketty jakelumuuntajan toisioon, mutta jakelumuuntajan katkaisijan ollessa auki generaattori syöttää vain 0,4 kV:n verkkoa. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi silloin, kun tiettyä muuntopiiriä syöttävä verkko on alhaalla, esimerkiksi vian tai huoltotyön takia ja muuntopiirin sähkönsaanti on turvattava verkon tilasta huolimatta.

Edellä mainitun kaltaisia muuntopiirejä on Muonion Sähköosuuskunnan jakelualueella muutamia. Yksityiskohtaisempi periaatekuva on esitetty liitteessä 8

7.4 Varavoimakoneen ajotapakuvuus

Varavoimakoneen ajotapakuvuus on pääpiirteittäin tässä osiossa esitetyn mukainen.

Varavoimakoneen ajaminen käsikäytöllä:

Dieselin käynnistys:

- Kuittaus- ja käynnistyspainiketta painamalla pysäytyssolenoidi vetää
- Dieselin hehkutus ja käynnistys tapahtuu käynnistyskytkimellä
- Generaattorin jännite nousee 400 volttiin

Katkaisijan sulkeminen kun verkossa ei ole jännitettä:

- Katkaisijan valintakytkimellä valitaan generaattorikatkaisija.
(Verkkokatkaisija ei ole käytössä tässä sovelluksessa)
- Katkaisija suljetaan painikkeella
- Katkaisijan valintakytkimen palautus

Generaattorin tahdistaminen verkkoon:

- Katkaisija valitaan jälleen valintakytkimellä
- Generaattorin jännite säädetään sopivaksi kytkimellä, synkronoskoopin mukaan

- Generaattorin pyörintänopeuden säädöllä säädetään taajuus oikeaksi synkronoskoopin mukaan
- Tahdistus tapahtuu tahdistuskytkimellä kun synkronoskooppi osoittaa oikean hetken
- Katkaisija sulkeutuu jos ehdot täyttyvät
- Katkaisijan sulkeuduttua voidaan säätää haluttu teho

Generaattorin irrottaminen verkosta:

- Generaattorin tehot ajetaan nolnaan ohjauskytkimillä
- Generaattorin katkaisija avataan
- Dieselin annetaan käydä jäähdytyskäyntiä muutama minuutti, jonka jälkeen diesel pysäytetään

8 POHDINTA

Opinnäytetyön aihe oli itselleni uusi ja mielenkiintoinen, joten opin sitä tehdessäni paljon uutta. Erityisesti varavoimageneraattoreista yleisesti mukaan tarttui paljon tietämystä, koska aihe tosiaan oli minulle hieman vieraampi. Varavoimajärjestelmistä opin myös paljon uutta työtä tehdessä, koska lähdeaineistoa tuli opiskeltua paljon työn edetessä.

Relesuojaus ja katkaisijan käyttö verkon suojauksessa oli myös koulussa käydyistä kursseista huolimatta hieman vieraampi aihe, mutta tämän työn tekemisen myötä se on käynyt paljon tutummaksi. Työn tekemisen aikana saavutettu tietotaito auttaa varmasti minua myöhemmässä vaiheessa, jos vaikkapa tulen työskentelemään vastaavien laitteistojen parissa. Myös työn aikana hankittu yleinen tieto aiheeseen liittyen ja hieman sen vierestäkin on varmasti avuksi minulle työelämässä.

Työn tuloksina syntyivät päivitetyt piirikaaviot dieselmoottorin ohjausjärjestelmistä, sekä generaattorin suojaus- ja tahdistusjärjestelmistä, magnetoinnista ja mittauksista. Piirikaavioita syntyi kaikkiaan noin 30 kappaletta, joista osa on esitetty tämän työn liitteissä. Lisäksi generaattorikontin layoutista syntyi periaatekuva. Näillä eväillä on toimeksiantajan hyvä lähteä jatkamaan projektiaan toteutuksen muodossa. Tarvittavat muutokset on siis pääpiirteittäin kartoitettu ja kuvat sekä kaaviot ovat ajan tasalla.

Työn tekemisessä pyrittiin siihen, että toimeksiantaja pääsee ottamaan generaattoria käyttöön mahdollisimman pienellä selvitystyöllä, koska mahdolliset muutokset pyrittiin kartoittamaan mahdollisimman tarkoin tämän työn yhteydessä. Tuloksena syntyneissä piirikaavioissa sekä periaatekuvissa nämä muutokset ovat jo tehtyinä. En kuitenkaan piirtänyt kaikkia kuvia uusiksi. Esimerkiksi kaappien aukotuspiirustuksia en nähnyt tarpeelliseksi piirtää uudelleen, koska muutoksiahan niihin ei tullut. Alkuperäiset versiot päivitetystä kuvista säilytettiin, jos niille tulee tarve jossain vaiheessa.

LÄHTEET

ABB 1992. Procontic CS31-logiikan esite.

ABB 1990. TTT-käsikirja 2000-07 Luku 7: Oikosulkusuojaus. WWW-julkaisu, viitattu 24.4.2015. https://moodle.eoppimispalvelut.fi/pluginfo.php/523371/mod_resource/content/1/071_0007_oikosulkusuojaus.pdf.

Ahokas, T. 2011. Voimalaitosgeneraattorien suojaus ja magnetointi. Tampereen teknillinen yliopisto. Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta. Diplomityö

Aura L. & Tonteri A., 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Porvoo: WSOY.

Deif A/S. Technical Specification of Deif FAS-3R Synchromat.

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 2. Helsinki: Otatieta.

Hakala, P., Hakanen, P., Kortelainen, T., Kousa, P., Laaksonen, M., Nurmi, M. & Piippo, E. 2013. ST-käsikirja 31: Varavoimalaitokset. 3. uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy

Havunen, I., Kaartinen, S., Korpinen, L., Lehtelä, R., Silvennoinen, S. 1998. Sähkövoimatekniikkaopus, WWW-versio. Viitattu 17.2.2015. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Opetusmoniste. <http://www.leenakorpinen.fi/node/158>.

Häsä, S. 2009. Generaattorisuojauksen uusinta. Teknillinen Korkeakoulu. Elektroniikan, tietoliikenteen ja automaation tiedekunta. Diplomityö

Jantunen, M. 2004. Sellutehtaan varavoimajärjestelmän mitoitus ja teknis-taloudellinen vertailu 400 ja 690 voltin jännitteillä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Kantonen, J. 2014. Tutkimus varavoimakoneen käytöstä sähköverkon tukemisessa. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö

KHD AG, 1981. DEUTZ BA 12 M 816 –käyttöohje. Köln: Klöckner-Humboldt-Deutz AG.

Laiti, P. 2010. Taajuusmuuttajaan perustuvan voimantuotannon liittäminen heikkoon sähköverkkoon. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinöörityö.

Match, L. & Morgan, J. 1987. Electromagnetic and Electromechanical Machines. John Wiley & Sons.

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: Otatieta

Pietikäinen, H. 2007. Tahtigeneraattorin oikosulut. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tutkintotyö

Pirkanmaan pelastuslaitos, tiedote. Alle 450-litraisten polttoainesäiliöiden kuljetus ja varastointi työmailla, viitattu 3.2.2015.
<http://pirkanmaanpelastuslaitos.fi/files/1401434009.pdf>

Standardi SFS 6000-1. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Soveltamisala, käyttötarkoitus ja peruserävaatimukset. SESKO ry

Strömberg 1991. Generaattorinsuoja SPAG 310 C. Ohjekirja.

Strömberg 1987. Moottorinsuojarele SPAM 110. Ohjekirja

Strömberg 1987. Vakioaika-alijänniterele SPAU 1F100. Ohjekirja

Strömberg 1977. Ohjekirja 34: SMUJ 75 K4.

Strömberg 1981. Vakioaikaylivirtarele SPAJ 3C. Ohjekirja

ST-kortti 52.40, Siirrettävän pienjännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon. 2012. Espoo: Sähköinfo Oy

Standardi SFS 6000-1. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Soveltamisala, käyttötarkoitus ja peruserävaatimukset.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2012. D1 käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo

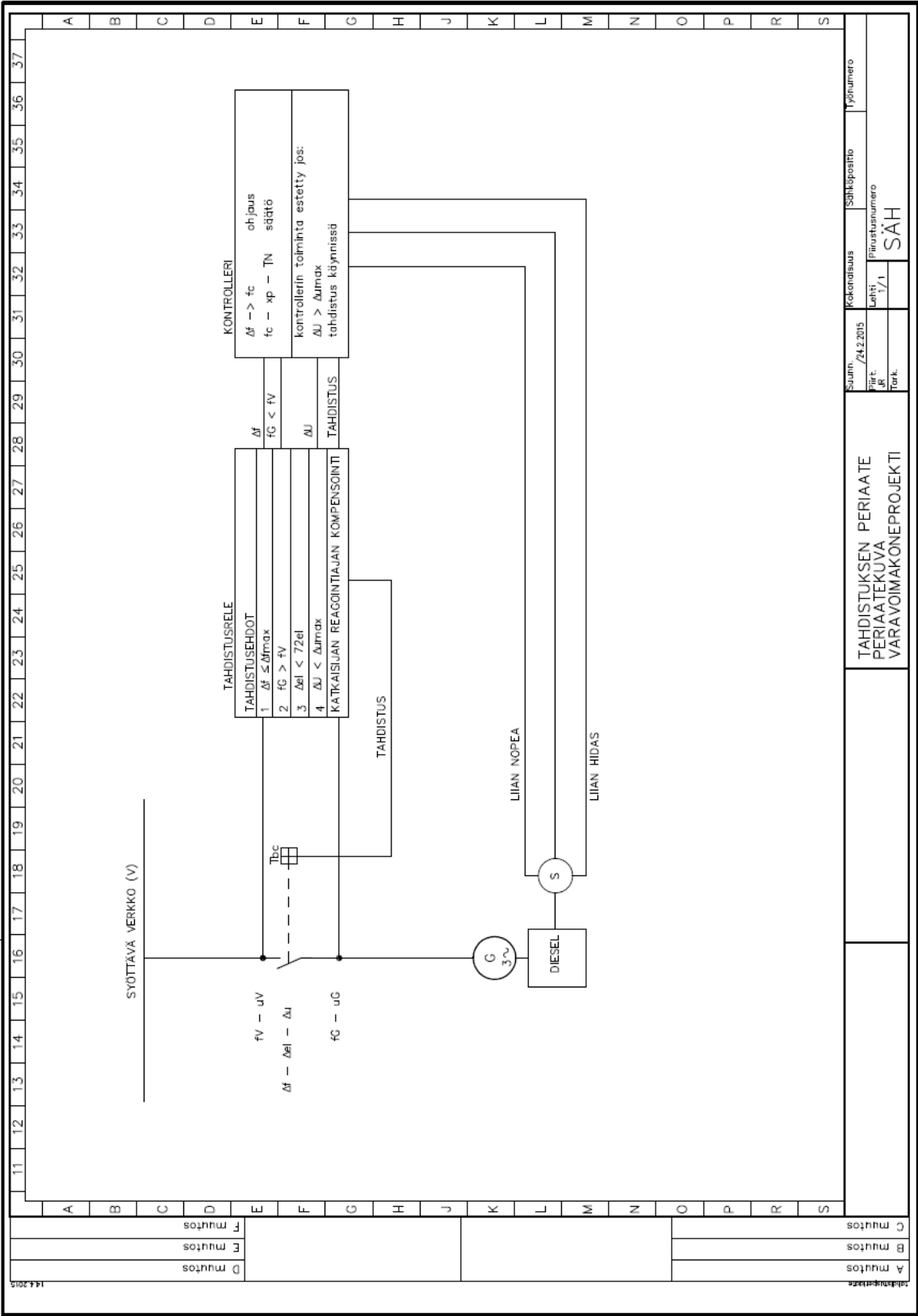
TUKES2011. Polttoaineiden kuljetuksessa käytettävä vain hyväksyttyjä säiliöitä. Ammattilaistiedote. Viitattu 3.2.2015.
<http://tukes.fi/fi/Ajankohtaista/Tiedotteet/Vaarallisten-aineiden-kuljetus---VAK/Polttoaineen-kuljetuksissa-kaytettava-vain-hyvaksytyja-sailioita1/>

W. Bender GMBH & CO. Technische Daten SFE140

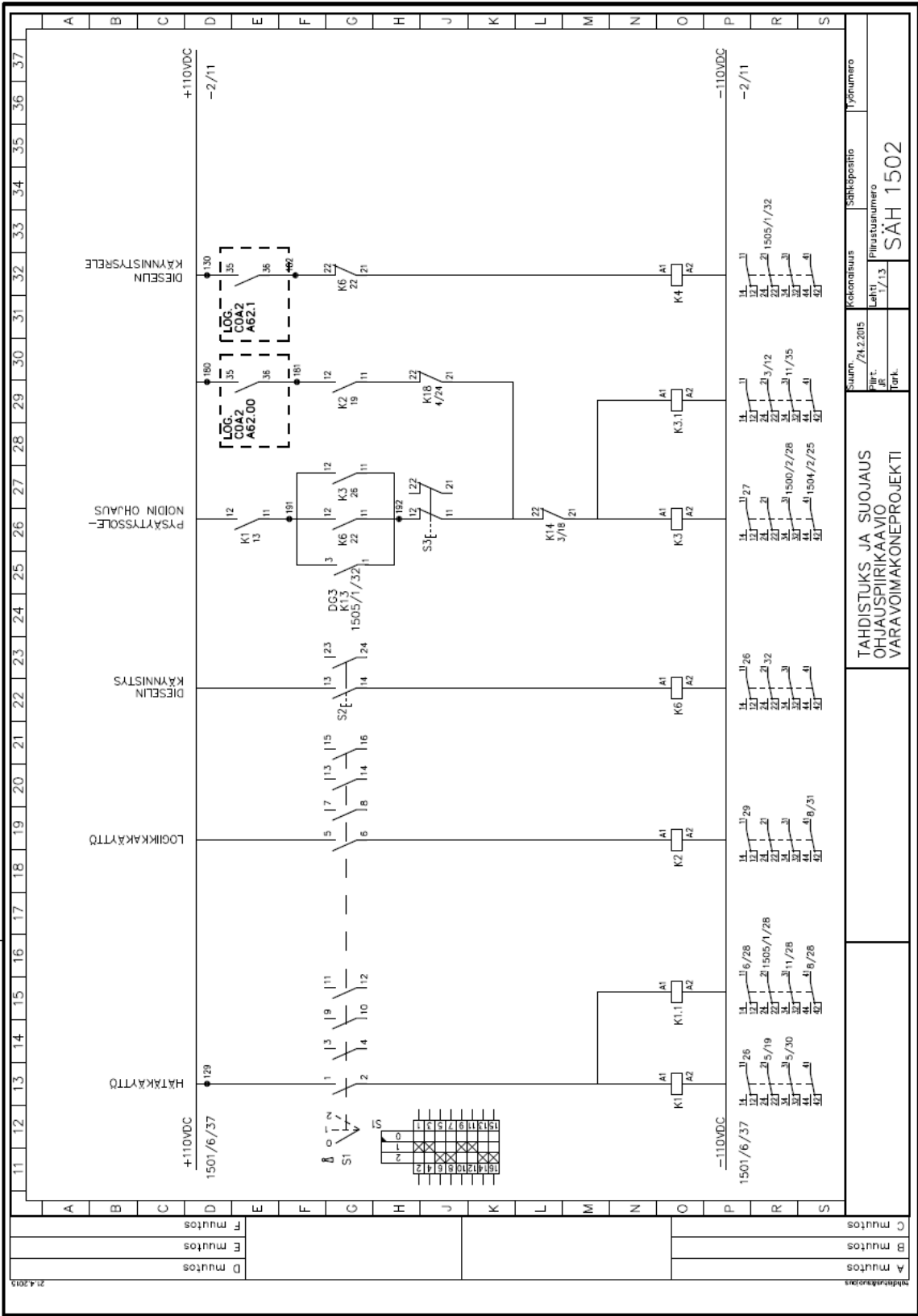
LIITTEET

Liite 1	Dieselgeneraattorin tahdistusehdot
Liite 2	Generaattorin tahdistus ja suojaus, DG2
Liite 3	Generaattorin magnetoinnin pääkaavio
Liite 4	Generaattorin alkuperäinen suojauskaavio ja laukaisumatriisi
Liite 5	Dieselmoottorin omakäytön piirikaaviot, DG3
Liite 6	Generaattorin pääpiirikaavio
Liite 7	Varavoimakontin layoutkaavio
Liite 8	Periaatekuva generaattorin liittämiseksi verkkoon

Liite 1



Liite 2 1(7)



SAH 1502

TAHDISTUKS JA SUOJAUS
OHJAUSPIIRIKAAVIO
VARAVOIMAKONEPROJEKTI

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

SAH 1502

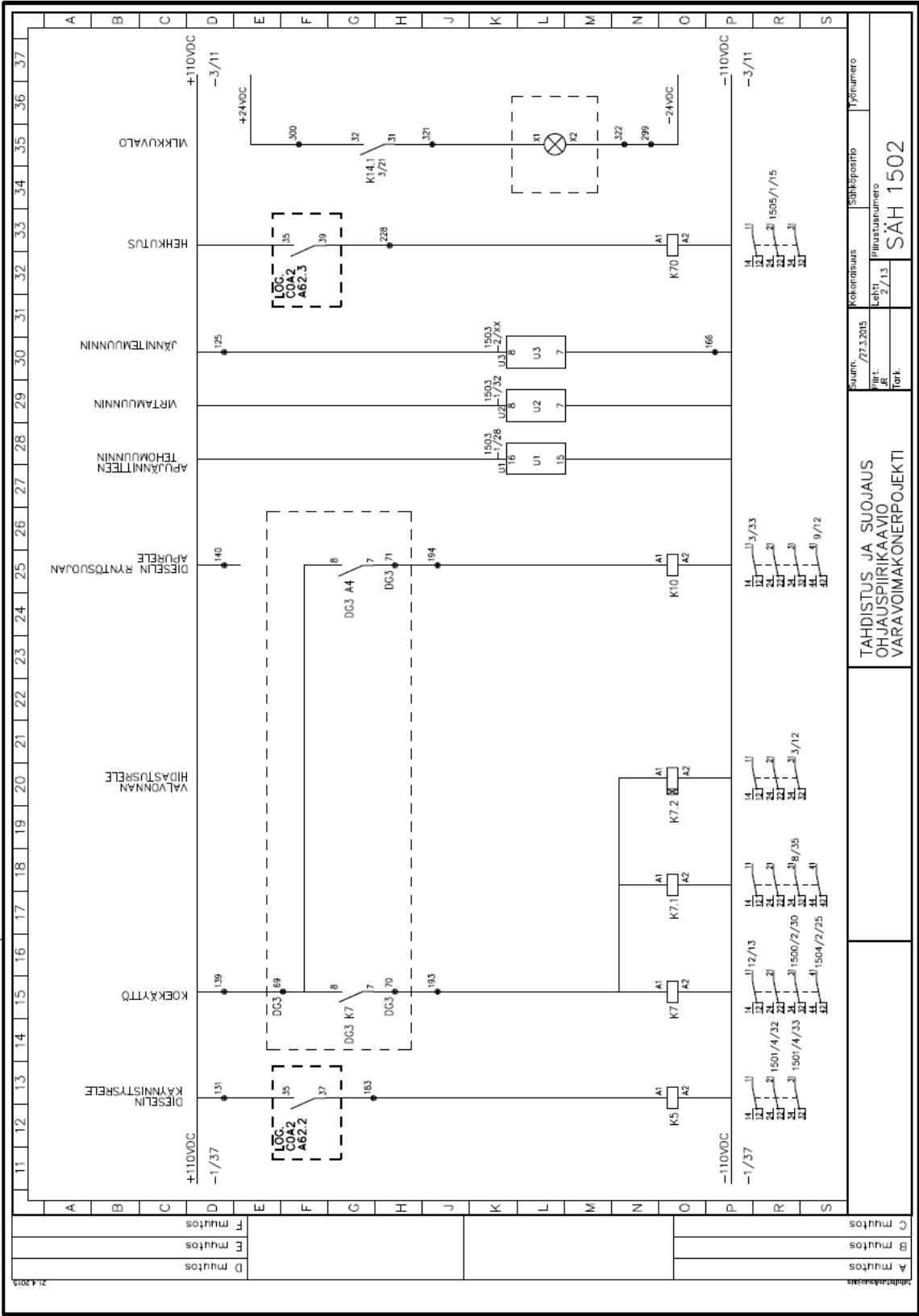
SAH 1502

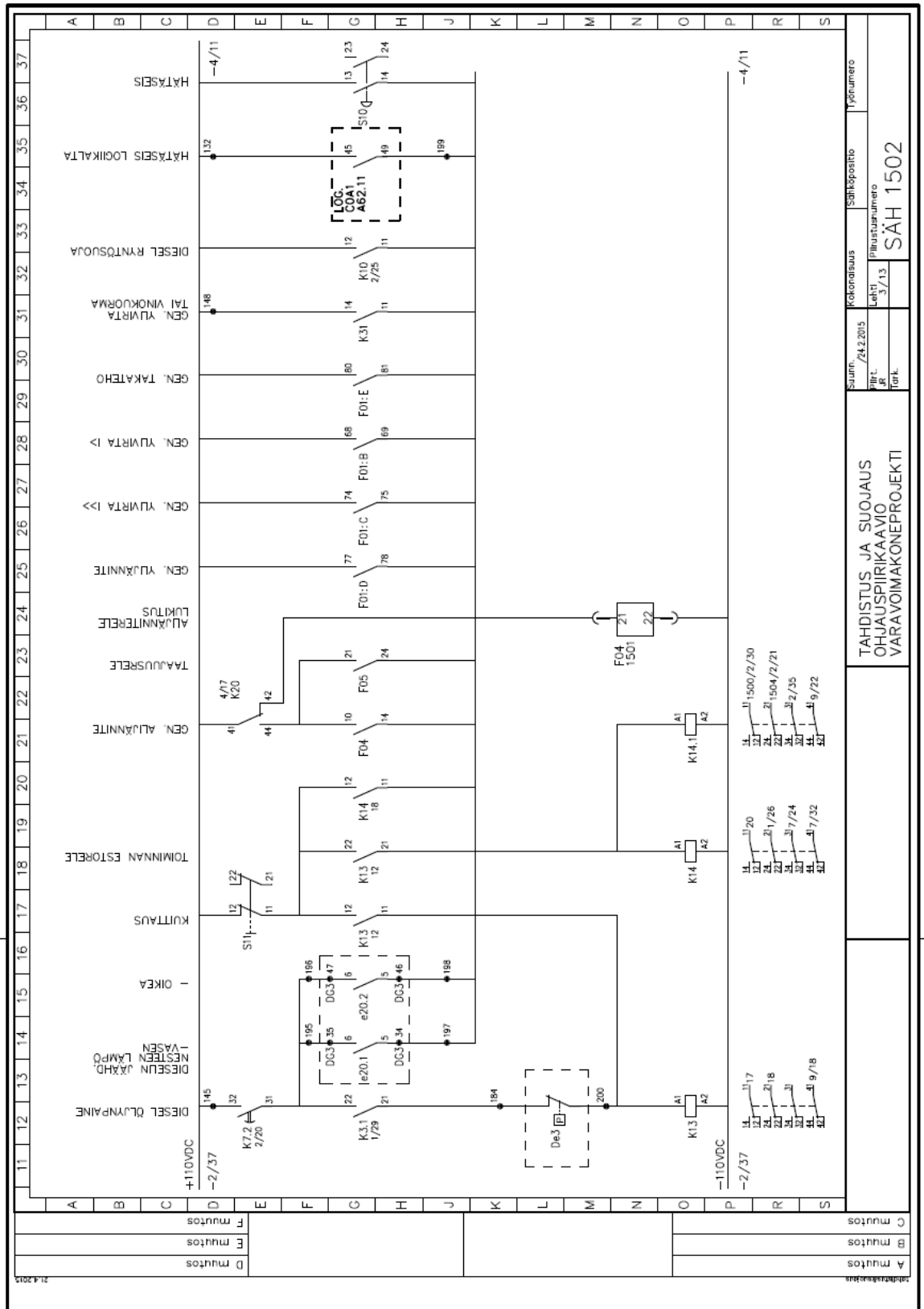
SAH 1502

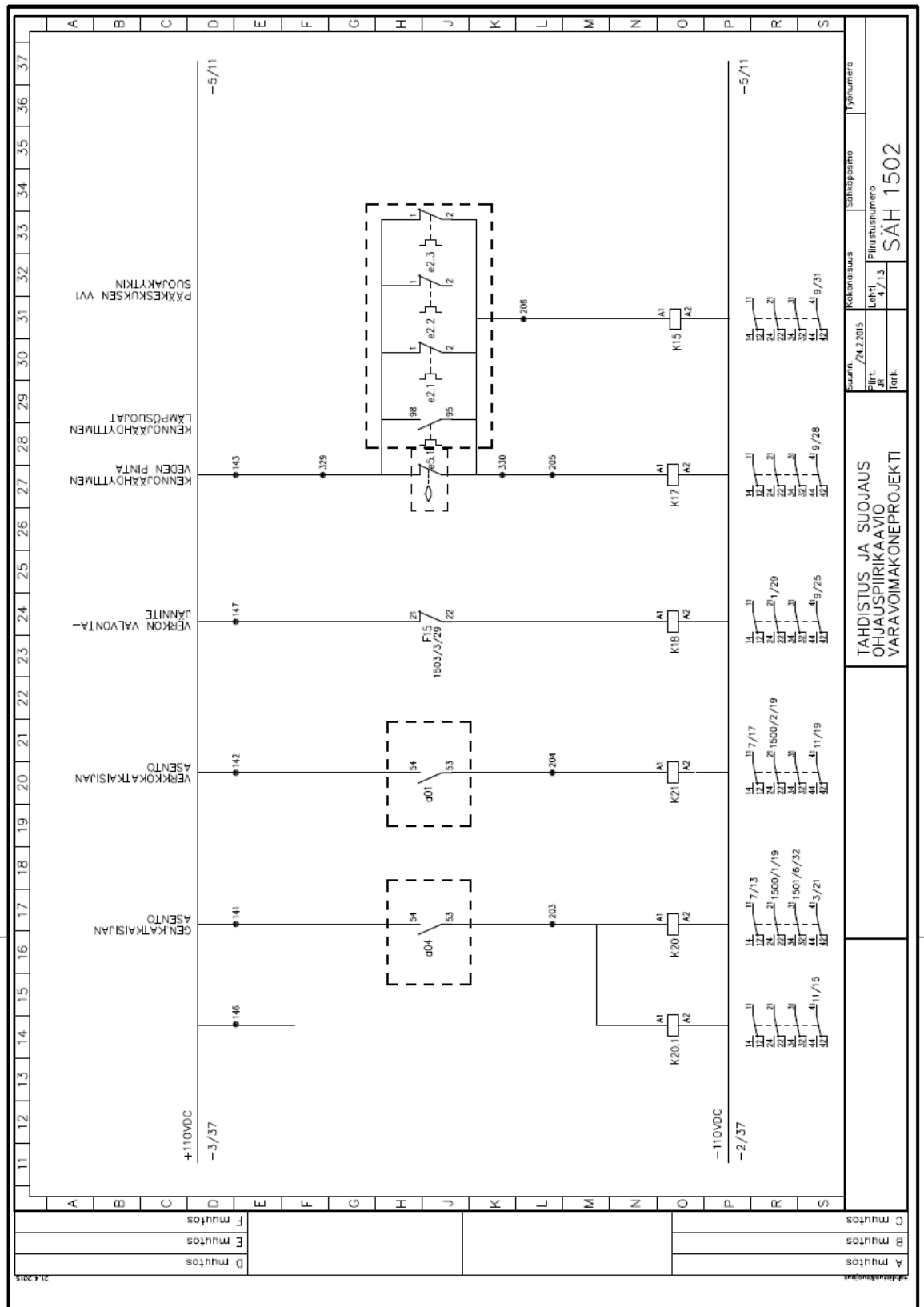
SAH 1502

SAH 1502

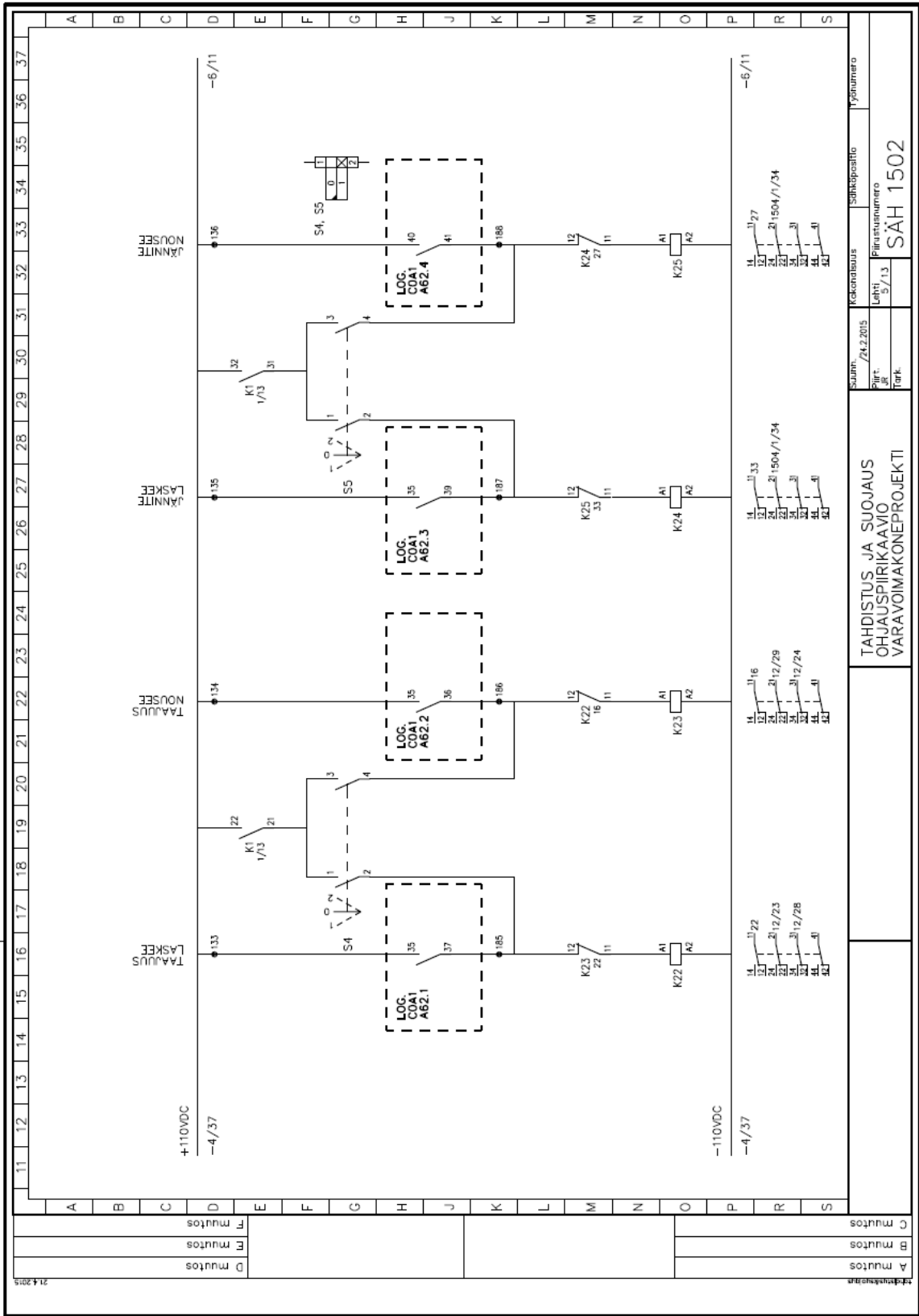
Liite 2 2(7)

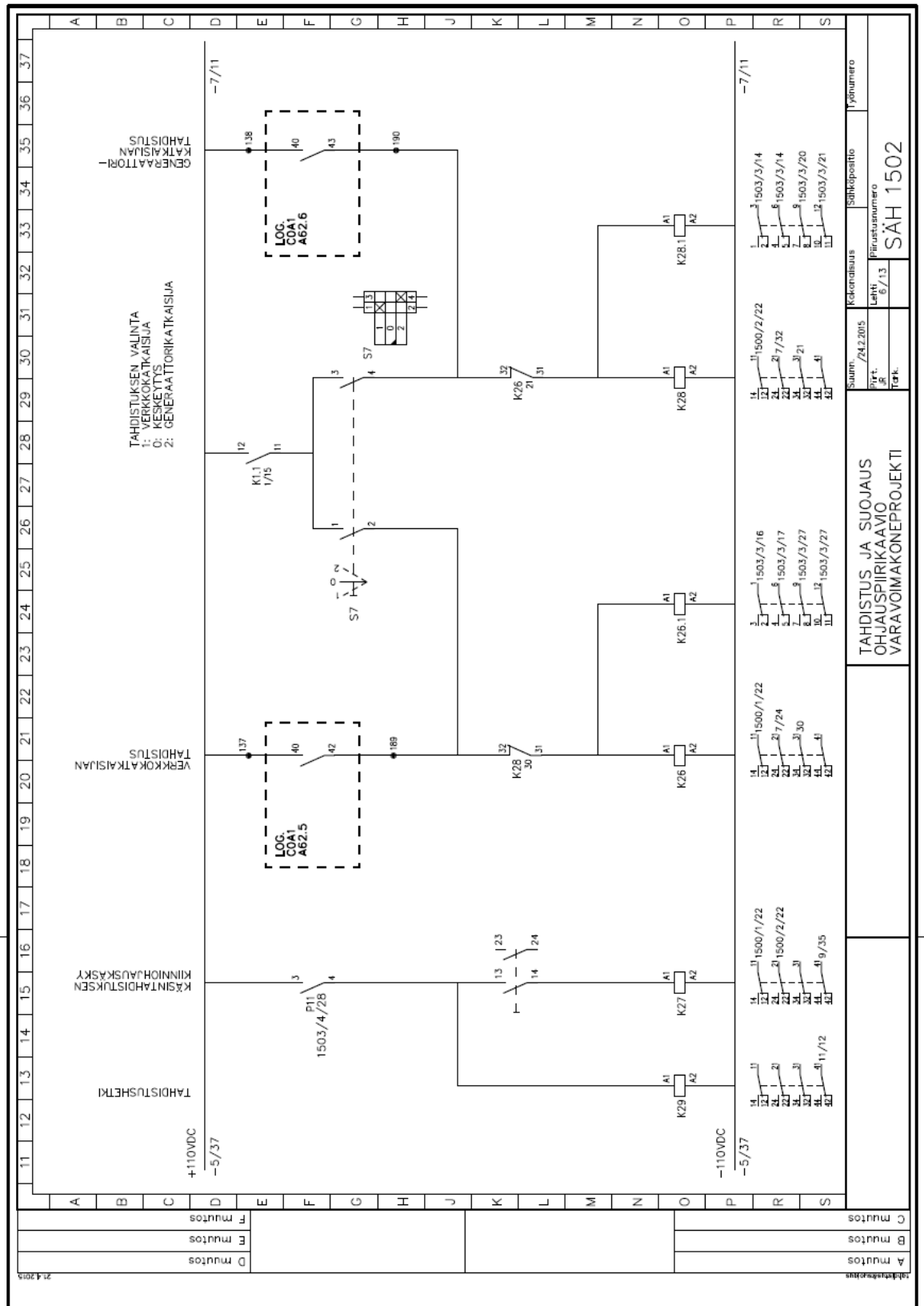




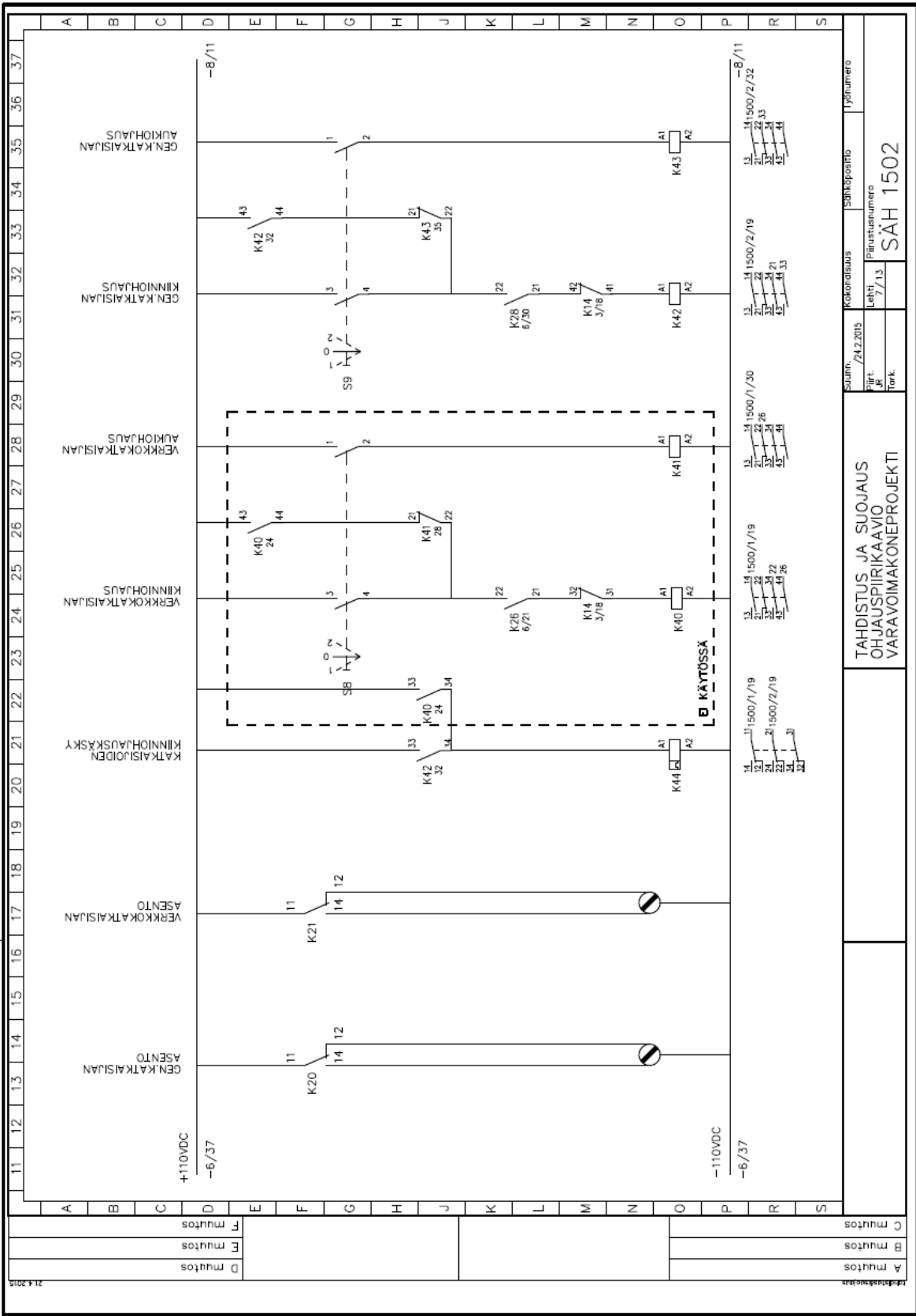


Liite 2 5(7)

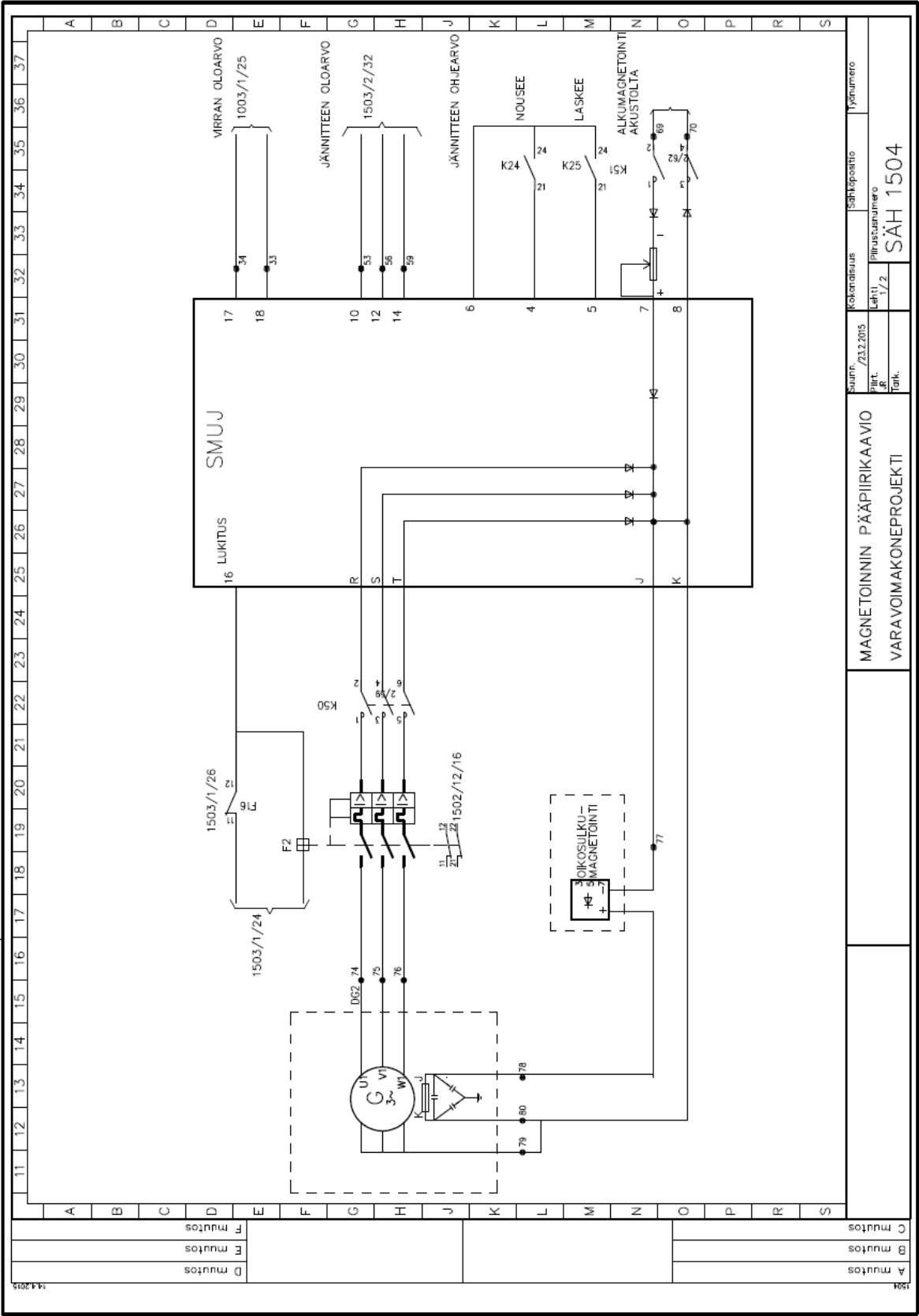


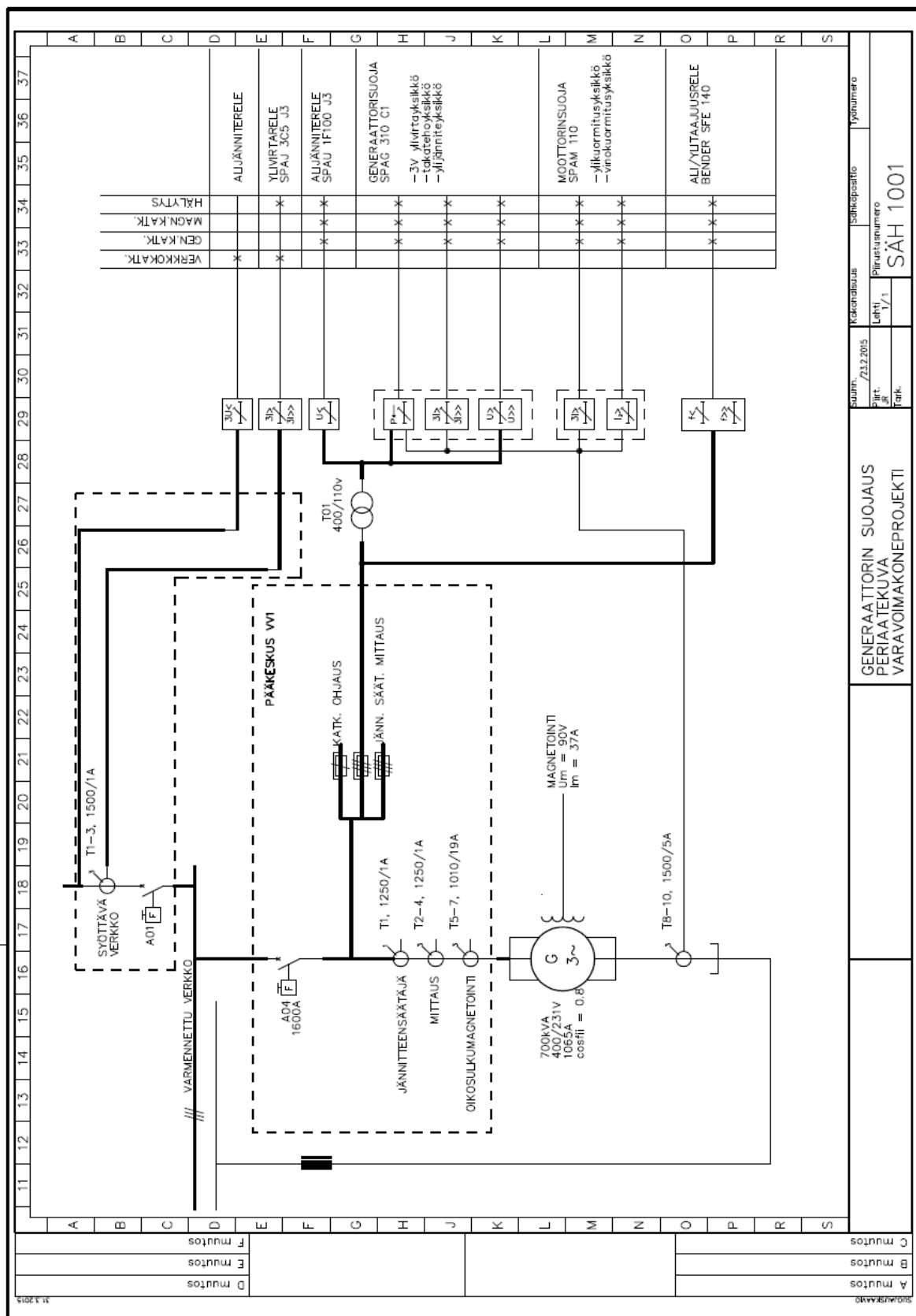


Liite 2 7(7)

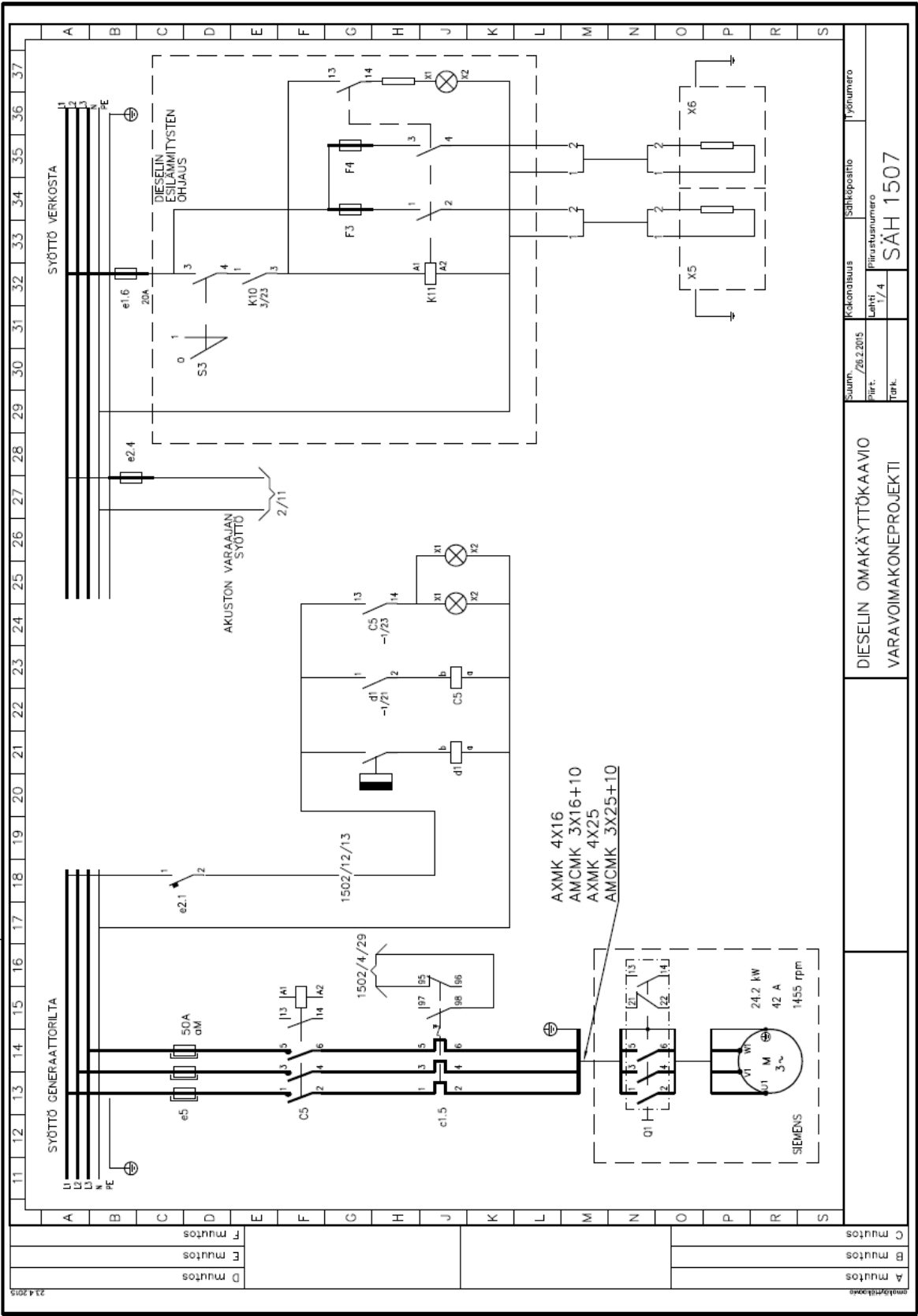


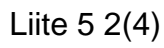
Liite 3



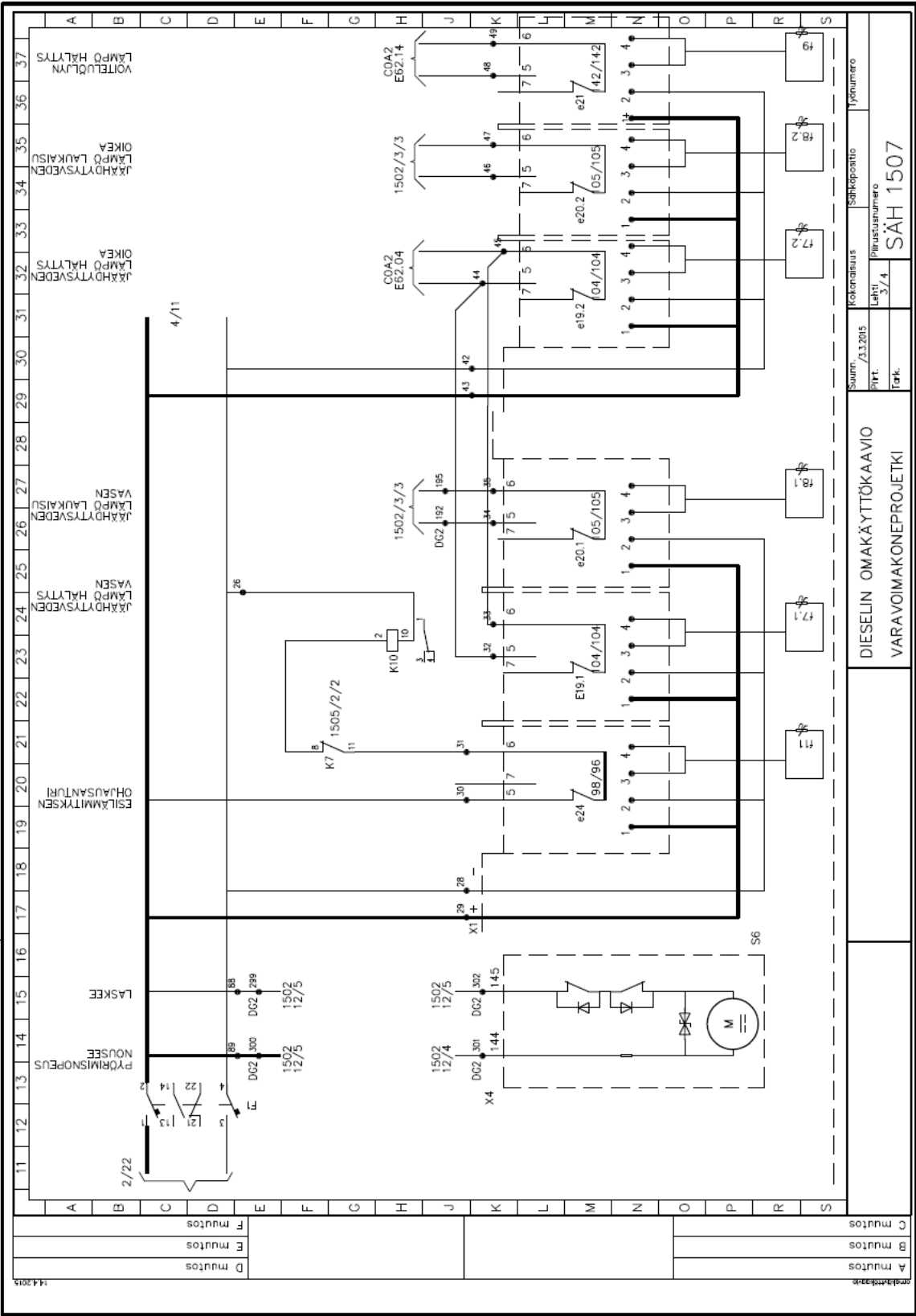


Liite 5 1(4)

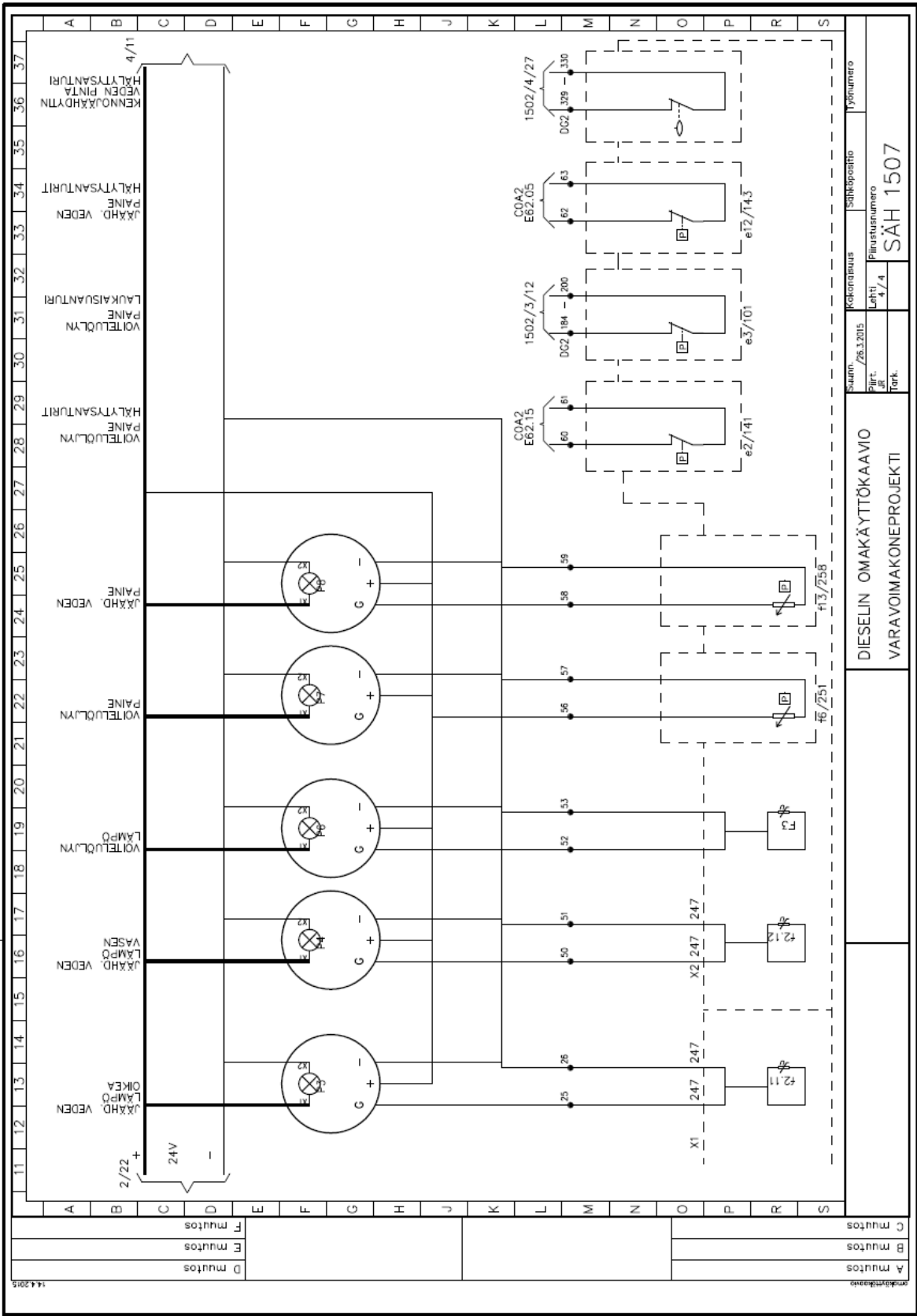




Liite 5 3(4)



Liite 5 4(4)





Liite 6

